

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Bruna Milán Gonçalves

**PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE
EMPREENDIMENTO RESIDENCIAL DE ALTO PADRÃO
COM O USO DA MODELAGEM BIM 4D**

Porto Alegre
julho 2018

BRUNA MILÁN GONÇALVES

**PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE
EMPREENHIMENTO RESIDENCIAL DE ALTO PADRÃO
COM O USO DA MODELAGEM BIM 4D**

Trabalho de Diplomação apresentado à Comissão de Graduação do
Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil

Orientador: Carlos Torres Formoso

Porto Alegre
julho 2018

BRUNA MILÁN GONÇALVES

**PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE
EMPREENHIMENTO RESIDENCIAL DE ALTO PADRÃO
COM O USO DA MODELAGEM BIM 4D**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheira Civil e aprovado pela banca examinadora e, em sua forma final, pelo Professor Orientador.

Porto Alegre, 12 de julho 2018

Prof. Carlos Torres Formoso
PhD pela University of Salford, Grã-Bretanha
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Torres Formoso (SALFORD)
PhD pela University of Salford, Grã-Bretanha

Prof. Eduardo Luís Isatto (UFRGS)
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng.^a Raquel Hoffmann Reck (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, José Bruno e Andréa,
e ao meu irmão, Tiago, pelo apoio incondicional às
minhas escolhas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força e determinação para chegar até aqui.

Agradeço à UFRGS pelo ensino de qualidade e pela possibilidade de me tornar uma profissional dedicada e amante da engenharia.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Formoso, pela dedicação e paciência durante a orientação deste trabalho, além de todo o conhecimento compartilhado, que foi essencial para o meu aprimoramento como profissional da área.

Agradeço à Empresa D pela oportunidade de estágio e por todos os conhecimentos compartilhados para que este trabalho pudesse ser realizado.

Agradeço à minha família, sobretudo aos meus pais, José Bruno e Andréa, por terem sempre me incentivado a ir em busca dos meus sonhos, a não desistir nos momentos difíceis e a fazer o meu melhor, independentemente das circunstâncias. Graças à dedicação, ao amor e ao apoio incondicional de vocês, sou o que sou hoje e tenho muito orgulho da pessoa que me formei. Amo vocês!

Agradeço ao André, pelo amor e carinho dedicado ao longo dos anos e, principalmente, por sempre querer o meu melhor e não medir esforços para me ajudar a alcançar os meus objetivos.

Agradeço às minhas amigas de infância, Bestis, por dividirem a vida comigo há tantos anos. Sou eternamente grata pelo companheirismo e pela amizade linda que cultivamos.

Agradeço aos meus amigos da Administração, Never Stop, que estão comigo desde o início da minha vida acadêmica, me apoiando na troca de curso e em todas as minhas conquistas. Muito obrigada pelos momentos inesquecíveis que vivemos juntos.

Agradeço às minhas amigas, Samanta e Camila, por estarem comigo desde o início do curso, sendo essenciais para o meu desenvolvimento pessoal e profissional - sem vocês essa jornada não teria sido tão linda e incrível como foi. Obrigada por serem quem são, minhas raposas!

Agradeço ao carinho e ao amor recebido por todos os meus colegas, amigos e familiares. Vocês são incríveis!

Tudo que está no plano da realidade, foi sonho um dia.

Leonardo da Vinci

RESUMO

No âmbito do setor de edificações, há uma maior complexidade nos sistemas de produção quando comparado à manufatura, visto que a mobilização se dá aos agentes transformadores, ao invés do produto final (empreendimento), o qual permanece fixo no decorrer de todas as suas fases evolutivas. Como consequência, os canteiros de obras são bastante voláteis, sendo alterados de acordo com as fases da obra, aumentando, assim, a complexidade logística como um todo. Devido a essas características inerentes da construção civil, ela acaba por apresentar índices de performance inferiores ao da indústria tradicional, sendo considerada um setor atrasado, com baixas taxas de produção e alto desperdício de recursos. Por conseguinte, este estudo busca utilizar os conceitos de gestão da produção como base para a elaboração do projeto do sistema de produção (PSP) de um empreendimento residencial. Além disso, com o advento dos modelos BIM 3D e BIM4D, a possibilidade de utilizá-los como ferramentas para auxiliar a elaboração do PSP, torna o processo mais otimizado e confiável, visto que a partir deles é possível verificar incompatibilidades de projeto e de planejamento, evitando, pois, atrasos e erros que podem impactar consideravelmente o orçamento, por exemplo. Sendo assim, o presente trabalho versa sobre a utilização da simulação BIM 4D como ferramenta de auxílio à visualização tridimensional e temporal do Projeto do Sistema de Produção, o qual foi aplicado a um empreendimento de alto padrão, localizado na cidade de Porto Alegre – RS. Em vista disso, esse estudo tem um caráter empírico e foi dividido em três fases: fase preparatória, que apresenta a definição do problema e dos objetivos desta pesquisa; fase de revisão bibliográfica, a qual embasou este estudo ao abordar teorias da gestão de produção e da modelagem BIM 4D, sobretudo aplicadas à Engenharia Civil; e, por fim, a terceira fase que consistiu no estudo empírico em si, abrangendo desde a escolha dos *software* até à elaboração do plano de ataque, do plano de longo prazo e da modelagem BIM 4D do objeto em estudo. Como conclusão, a principal contribuição deste trabalho foi a verificação de que, mesmo que a simulação 4D precise estar associada a outros métodos para garantir que todas as decisões do sistema de produção sejam contempladas e analisadas, ela apresenta-se como uma ótima ferramenta para a confecção do PSP.

Palavras-chave: Projeto do Sistema de Produção; PSP; modelagem 4D; BIM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo do Sistema de Produção.....	20
Figura 2 – Tipos de Sistema de Produção.....	23
Figura 3 – Dimensões dos Empreendimentos Complexos.....	27
Figura 4 – Modelo de Gestão e Estratégia da Produção.....	29
Figura 5 – Método de Elaboração do PSP.....	36
Figura 6 – Método de Uso da Modelagem BIM 4D na Gestão da Produção.....	37
Figura 7 – Linha de Balanço.....	42
Figura 8 – Interpretação de Desenhos 2D.....	46
Figura 9 – Processo de Modelagem 4D.....	53
Figura 10 – Delineamento do Estudo.....	60
Figura 11 – Fachada do Empreendimento IPE.....	65
Figura 12 – Planta Baixa do Apartamento do Empreendimento IPE.....	66
Figura 13 – Lote de Produção da Unidade Base.....	69
Figura 14 – Rede de Precedência da Unidade Base.....	70
Figura 15 – Linhas de Balanço da Unidade Base (a) Inicial e (b) Final.....	71
Figura 16 – Lotes de Produção dos Subsolos 1 e 2 e Térreo.....	72
Figura 17 – Linha de Balanço: Cenário Recursos Próprios.....	75
Figura 18 – Linha de Balanço: Cenário Financiamento.....	76
Figura 19 – Linha de Balanço: Cenário Venda Unidades.....	77
Figura 20 – Histograma de Mão de Obra: Cenário Financiamento.....	79
Figura 21 – Representação Simbólica das Fundações na Simulação BIM 4D.....	80
Figura 22 – Análise Tráfego Escavação x Contenção.....	83
Figura 23 – 1º Layout do Canteiro.....	83
Figura 24 – Posição da Grua (OPÇÃO 1).....	85
Figura 25 – Posição da Grua (OPÇÃO 2).....	85
Figura 26 – Posição da Grua (OPÇÃO 3).....	86
Figura 27 – Localização Estoque PPCA.....	87
Figura 28 – 2º Layout do Canteiro.....	88
Figura 29 – Logística Elevador Cremalheira.....	89
Figura 30 – Processos que Necessitam Cuidados na Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho.....	92
Figura 31 – Chegada do PPCA ao Canteiro.....	94
Figura 32 – Posicionamentos do PPCA na Área de Estoque.....	94

Figura 33 – Área de Isolamento para Movimentação do PPCA.....	95
Figura 34 – Sistemas de Segurança Periférica (Tela T e U).....	96
Figura 35 – Execução PPCA x Proteção Periférica.....	97
Figura 36 – Sequência de Execução do PPCA.....	98
Figura 37 – Arremates e Limpeza do PPCA.....	99
Figura 38 – Cinto de Segurança Obrigatório.....	99
Figura 39 – Linha de Balanço: Processo Crítico Fachada.....	100
Figura 40 – Processo de Elaboração do PSP com o Auxílio da Modelagem BIM 4D.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das Atividades Realizadas.....	63
Tabela 2 – Quadro Resumo dos Materiais e das Técnicas Construtivas do Empreendimento IPE.....	67
Tabela 3 – Pré-dimensionamento da Capacidade de Recursos.....	73
Tabela 4 – Custo Inicial dos Cenários Previstos.....	74
Tabela 5 – Duração da Obra de Acordo com os Cenários Previstos.....	78
Tabela 6 – Dimensionamento da Capacidade de Recursos Final.....	91

LISTA DE SIGLAS

BIM – *Building Information Modeling* (Modelagem da Informação da Construção)

CAD – *Computed-aided Design*

CPM – *Critical Path Method* (Método do Caminho Crítico)

EAP – Estrutura Analítica de Projeto

ETO – *Engineer-to-Order*

IAI - *International Alliance for Interoperability*

IFC - *Industry Foundation Classes*

LBS – *Location-Based Scheduling*

LOD – *Level of Detail* (Nível de detalhamento)

PERT - *Program Evaluation and Review Technique* (Técnica de Avaliação e Revisão de Projeto)

PPCA – Painel Pré-moldado de Concreto Arquitetônico

PSP – Projeto do Sistema de Produção

TIC – Tecnologia da Informação e da Comunicação

TVF – Transformação-Valor-Fluxo

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

WBS – *Work Brakedown Structure*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
1.2 ESCOPO DO TRABALHO.....	16
1.2.1 Problema de Estudo.....	16
1.2.2 Questão de Estudo.....	17
1.2.3 Objetivos do Estudo.....	17
1.2.3.1 Objetivo Principal.....	17
1.2.3.2 Objetivo Secundário.....	17
1.2.4 Premissa.....	17
1.2.5 Limitações.....	17
1.2.6 Estrutura do Trabalho.....	18
2 GESTÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	19
2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	19
2.1.1 Sistemas de Produção por Projeto.....	22
2.1.2 Nova Abordagem acerca do Sistema de Produção da Construção Civil.....	24
2.2 PROJETOS COMPLEXOS.....	26
2.3 GESTÃO DA PRODUÇÃO.....	28
2.4 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	29
2.4.1 Nível de Integração Vertical.....	30
2.4.2 Capacidade de Produção.....	31
2.4.3 <i>Layout</i>	31
2.4.4 Fluxos e Sincronia da Produção.....	33
2.4.5 Projeto de Processos Críticos.....	35
2.5 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	36
2.5.1 Etapas de Elaboração do PSP.....	36
2.5.2 PSP Aplicado a Projetos Complexos.....	38
2.6 ABORDAGENS SIMILARES AO PSP NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	39
2.6.1 Projeto das Operações.....	39
2.6.2 <i>Working Structuring</i>	40
2.6.3 <i>Phase Scheduling</i>	41
2.6.4 <i>Location-Based Scheduling (LBS)</i>	41
2.7 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA O PSP.....	42

2.7.1 Projeto e Planejamento do Sistema de Produção com o Uso da Modelagem BIM 4D.....	42
2.7.2 Integração da Simulação de Eventos Discretos e Modelagem 4D no PSP.....	43
3 MODELAGEM BIM 4D.....	45
3.1 MODELO.....	45
3.2 MODELAGEM.....	46
3.3 BIM.....	48
3.4 MODELAGEM 4D.....	51
3.4.1 Processos de Modelagem 4D.....	52
3.4.2 Parâmetros de Modelagem 4D.....	53
3.5 IMPLANTAÇÃO DA MODELAGEM 4D NA CONSTRUÇÃO CIVIL	55
4 MÉTODO DE ESTUDO.....	59
4.1 ESTRATÉGIA E DELINEAMENTO DO ESTUDO.....	59
4.2 FONTES DE EVIDÊNCIAS.....	60
4.2.1 Observação Participante.....	60
4.2.2 Entrevistas.....	61
4.2.3 Análise de Documentos.....	61
4.3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES RELIZADAS.....	61
4.3.1 Elaboração do PSP e da Modelagem 4D.....	62
5 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	64
5.1 ESTUDO EMPÍRICO.....	64
5.1.1 Descrição da Empresa D.....	64
5.1.2 Descrição do Empreendimento IPE.....	65
5.1.3 Seleção dos <i>Software</i>.....	67
5.1.3.1 Planejamento da Construção.....	67
5.1.3.2 Modelagem BIM 4D.....	68
5.1.3.3 Análise de <i>Layout</i> e Logística de Canteiro.....	68
5.1.4 Elaboração do PSP.....	68
5.1.4.1 Definição da Sequência de Execução e Pré-dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção.....	68
5.1.4.2 Estudo dos Fluxos de Trabalho da Unidade Base.....	70
5.1.4.3 Estudo dos Fluxos de Trabalho do Empreendimento.....	72
5.1.4.4 Definição dos Parâmetros de Modelagem e Modelagem do Empreendimento....	79
5.1.4.5 <i>Layout</i> do Canteiro e Definição da Estratégia de Execução do Empreendimento	82
5.1.4.6 Dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção.....	90

5.1.4.7 Identificação e Projeto de Processo Crítico.....	92
6 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	101
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
REFERÊNCIAS	109

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo consta a contextualização do tema proposto, bem como o seu escopo. Ademais, é exposto o problema de pesquisa, seus objetivos principal e secundário, sua delimitação e sua premissa. Por fim, é apresentada a forma como este trabalho foi estruturado.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Concluir projetos de construção dentro do tempo esperado, considerando todas as suas numerosas restrições, requer uma integração hábil de todos os aspectos pertinentes ao projeto, principalmente a produtividade da mão-de-obra, a qual desempenha um papel crucial na garantia de que os projetos sejam finalizados com sucesso (ALMOHSEN; RUWANPURA, 2013). Segundo estes mesmos autores, canteiros de obra estão suscetíveis aos mais diversos fatores, os quais comprometem a eficiência da força de trabalho, reduzindo a produtividade de tal modo que acabam por interferir no desempenho do projeto como um todo e, por conseguinte, na sua capacidade de conseguir alcançar os objetivos de tempo, orçamento e qualidade previstos.

Portanto, a necessidade de sistematizar o processo de construção, para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade do produto final, torna-se imprescindível. Para isso, considera-se que há três práticas gerais, as quais podem ser executadas quando feitas as deliberações acerca da gestão da produção (KOSKELA; BALLARD, 2003), sendo elas: (a) Projeto do Sistema de Produção; (b) Operação do Sistema de Produção; e, (c) Melhoria do Sistema de Produção. Ainda que o Projeto do Sistema de Produção seja bastante utilizado nos setores industriais, na construção civil ele é pouco difundido (RODRIGUES, 2006). Contudo, tendo em vista que a construção civil trabalha com uma alta complexidade, pois apresenta diversos processos inter-relacionados, na qual alterações pontuais podem impactar consideravelmente o projeto como um todo (PAPAMICHAEL, 1999), é de extrema relevância que o Projeto do Sistema de Produção (PSP) seja usado como uma ferramenta de gestão da construção. Para isso, ele deve ser realizado previamente à produção da edificação e atualizado durante sua execução, pois, assim, é possível identificar e mitigar, a priori, as incompatibilidades oriundas dos diferentes sistemas de produção empregados (KOSKELA, 2000; BALLARD et al., 2001a; SCHRAMM,

2004) e, também, controlar o acompanhamento da obra de maneira mais efetiva (SCHRAMM, 2004).

No entanto, projetos complexos, tal qual o objeto de estudo deste trabalho, demandam ações, metodologias, práticas e recursos adequados para coordená-los com êxito, pois o uso de ferramentas tradicionais de planejamento não vêm atingido às expectativas (BACCARINI, 1996). Por conseguinte, as propriedades visuais das linhas de balanço e dos diagramas de precedência facilitam a sua utilização, quando comparadas às dos diagramas de Gantt ou às redes PERT/CPM (SCHRAMM, 2004 e 2009; RODRIGUES, 2006). Todavia, elas permanecem incapazes de gerar visualização espacial do que está sendo projetado/controlado. Sendo assim, a modelagem 3D, aliada ao planejamento da construção, permite a execução do modelo BIM 4D (RILEY, 2003; KUNZ; FISCHER, 2011), o qual tem como objetivo analisar o sequenciamento das atividades, previamente à sua execução, de maneira tridimensional e temporal, garantindo uma melhor compreensão do projeto como um todo (BIOTTO, 2012).

Desse modo, este trabalho propõe associar a utilização desta nova concepção de gerenciamento da informação, BIM 4D, ao Projeto do Sistema de Produção (PSP) de um empreendimento de alto padrão, localizado em Porto Alegre - RS, visto que tal abordagem traz a possibilidade de realizar simulações de planos alternativos (ALVES; TOMMELEIN, 2007), testar possibilidades e encontrar pontos falhos, restrições e diversas outras informações úteis para o entendimento e o planejamento da logística global do empreendimento (BIOTTO, 2012). Além disso, a oportunidade para aplicar tal abordagem no uso de sistemas construtivos mais peculiares, com alto custo de produção, e, assim, evitar conflitos que impactariam significativamente no seu escopo, cronograma e custo, foi um fator determinante para a escolha deste objeto de estudo.

Assim, o presente estudo visa a contribuir para com a comunidade acadêmica, à medida que tentará diminuir a lacuna ocasionada pela falta de trabalhos com aplicação da modelagem 4D a partir de um processo BIM já implementado. Isso será possível, pois além da construtora em análise já estar trabalhando com o projeto da edificação em modelo BIM 3D, ela pretende utilizar essa tecnologia durante todo o ciclo de vida do empreendimento, sobretudo dos próximos projetos já em andamento.

1.2 ESCOPO DO TRABALHO

As diretrizes que conduzem este trabalho estão descritas nos itens abaixo.

1.2.1 PROBLEMA DE ESTUDO

Tomar decisões estratégicas acerca de um empreendimento não é uma tarefa fácil. Essa complexidade provém da interdependência das decisões, isto é, as consequências de cada deliberação estão sujeitas a diversas outras resoluções (PAPAMICHAEL, 1999). Além disso, no âmbito da construção civil, muitas oportunidades não são aproveitadas e diversas situações culminam em resultados insatisfatórios, pois as decisões tomadas são baseadas em informações precárias (PAPAMICHAEL, 1999). Para realizar o planejamento de longo prazo da construção são necessários dados que, muitas vezes, são mal administrados, seja por falta de conhecimento seja pela dificuldade de se ter uma visão global do processo (BIOTTO, 2012; RECK, 2013; BATAGLIN, 2017). Deste modo, como uma maneira de preencher essas lacunas, diversas pesquisas acerca do uso de modelos 4D na gestão da construção civil estão sendo realizadas (BIOTTO, 2012; RECK, 2013; BATAGLIN, 2017). Isso se deve ao fato de que estes modelos auxiliam a visualização das definições e permitem a proposição de alternativas como, por exemplo, o layout do canteiro, o sequenciamento das operações, a logística da obra como um todo, entre outras. Além disso, também consegue estabelecer uma comunicação clara entre os intervenientes de obra, sendo eles o engenheiro, o mestre, os subempreiteiros, a direção e os demais envolvidos dentro da cadeia produtiva (WEBB; HAUPT, 2003; HARTMANN; GAO; FISCHER, 2007; KYMMEL, 2008; SACKS; TRECKMAN; ROZENFELD, 2009). Ademais, como a sequência de transformação do produto pode ser visualizada por meio da modelagem 4D e, assim, as características físicas e temporais do produto são integradas e melhores compreendidas, Koo e Fischer (1998) alegam que há uma maior probabilidade de se encontrar pontos falhos no sistema de produção de maneira antecipada.

Portanto, a fim de buscar aplicações práticas e concretas acerca da elaboração do projeto do sistema de produção com a utilização do modelo BIM 4D, o presente trabalho trata do desenvolvimento de um estudo empírico, o qual foi aplicado no empreendimento de uma incorporadora sediada em Porto Alegre – RS. Este estudo procurou implementar um modelo BIM 4D para auxiliar na elaboração do PSP do empreendimento e, além disso, auxiliar os gestores nas tomadas de decisão ao longo do desenvolvimento deste projeto.

1.2.2 QUESTÃO DE ESTUDO

A questão de pesquisa deste trabalho é: “como desenvolver o Projeto do Sistema de Produção (PSP) de um empreendimento residencial com auxílio da modelagem BIM 4D? ”

1.2.3 OBJETIVOS DO ESTUDO

1.2.3.1 Objetivo Principal

Este trabalho tem como objetivo principal elaborar o Projeto do Sistema de Produção (PSP) de empreendimento residencial de alto padrão utilizando a modelagem BIM 4D.

1.2.3.2 Objetivo Secundário

Objetivos secundários são:

- Identificar decisões do plano de longo prazo e do projeto do sistema de produção que podem ser tomadas com o apoio da modelagem 4D;
- Identificar os benefícios e as dificuldades de se utilizar a modelagem BIM 4D como ferramenta de apoio ao Projeto do Sistema de Produção.

1.2.4 PREMISSA

Este trabalho tem por premissa que o PSP necessita fornecer informações ao planejamento de longo prazo e à modelagem 4D para que estes se concretizem. Ademais, visando rápidas tomadas de decisão, ambas precisam ser capazes de exemplificar o estudo de alternativas de maneira eficiente e objetiva, gerando, pois, retroalimentação palpável para o auxílio dos gestores envolvidos.

1.2.5 LIMITAÇÕES

Este trabalho está limitado pelo fato de que está baseado em uma única obra, denominada IPE, a qual será edificada na cidade de Porto Alegre – RS, e se utiliza de um conjunto de tecnologias específicas.

Ademais, a autora trabalha tanto no setor de coordenação de projetos quanto no de planejamento da empresa D, tendo uma posição de *insider* neste trabalho, isto é, pessoa que recebe informações privilegiadas e está em posição de influenciar nas decisões tomadas.

1.2.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por 7 capítulos. O primeiro versa sobre a introdução, a qual contextualiza o tema proposto e apresenta o problema e a questão de pesquisa, os objetivos, as premissas e as delimitações acerca do assunto a ser tratado, bem como a estrutura na qual ele é apresentado.

Nos capítulos 2 e 3 tem-se a revisão bibliográfica. Primeiramente (capítulo 2), discute-se Gestão de Sistemas de Produção é apresentada, incluindo os conceitos de sistema de produção tradicional e da abordagem TVF, do sistema de produção por projeto, da gestão da produção como um todo, do projeto do sistema de produção em si, assim como ele aplicado à construção civil, e da abordagem de projetos complexos. Em seguida (capítulo 3), os conceitos sobre a modelagem BIM são expostos a partir da descrição das considerações acerca do modelo e da modelagem, do processo BIM em geral, da apresentação dos conceitos básicos de visualização e da modelagem 4D, e, por fim, da narrativa empírica das diversas tentativas de implantação deste recurso nas empresas de construção civil, bem como os desafios encontrados.

O capítulo 4 descreve o método de pesquisa utilizado, isto é, a estratégia e o delineamento empregados, expondo as características do estudo empírico e das atividades que foram realizadas durante o processo de coleta e análise de dados. Para o quinto capítulo, apresenta-se os resultados do estudo realizado, desde a escolha dos *software* até a elaboração do PSP e do plano de longo prazo propriamente dito, passando pela modelagem BIM 4D e pelas análises de *layout* e de logística do canteiro realizadas. Já no capítulo 6 foi feita a discussão e a análise dos resultados obtidos durante a aplicação deste trabalho. Por fim, no capítulo 7 foram apresentadas as conclusões a cerca deste estudo aplicado, bem como os objetivos atingidos com ele.

2 GESTÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Este capítulo aborda os conceitos do sistema de produção tradicional e da abordagem TVF apresentada por Koskela (2000), bem como as características do sistema de produção por projeto e como a construção civil se encaixa nesse enfoque. Em seguida, apresenta-se a gestão da produção como um todo, o escopo e os objetivos do projeto do sistema de produção em si, assim como ele no contexto da indústria da construção.

2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

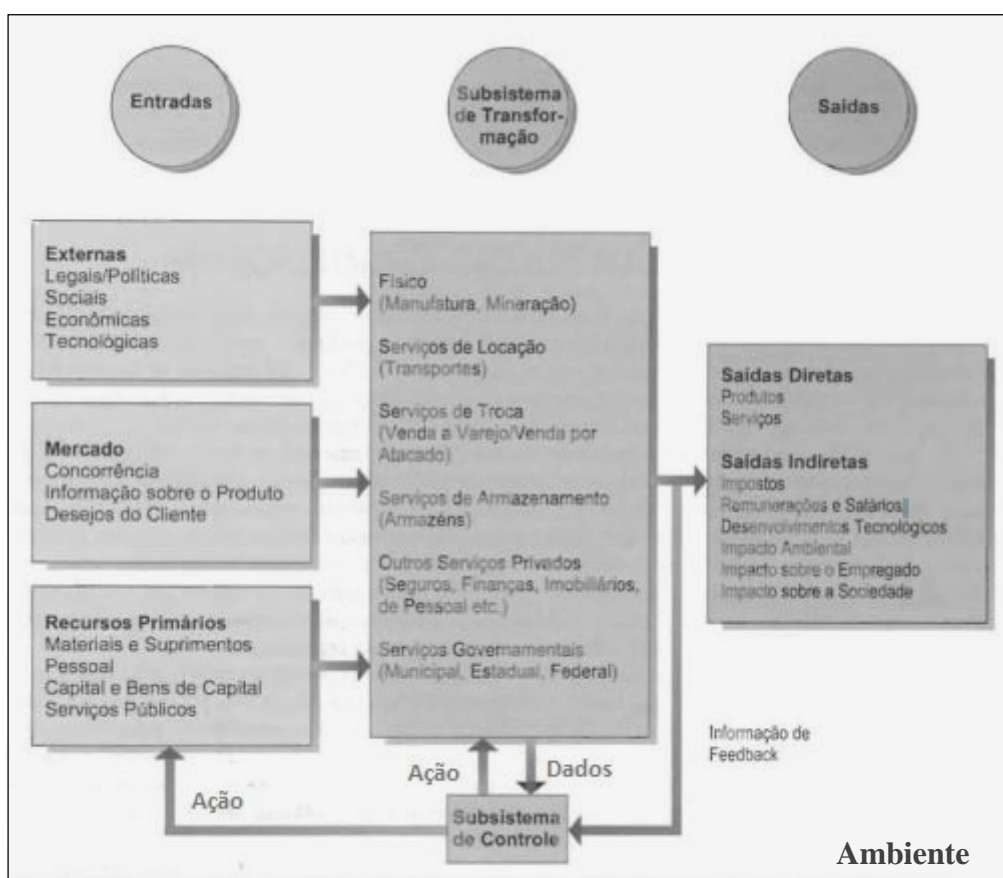
De acordo com Ackoff (1974), um sistema é uma união de dois ou mais elementos inter-relacionados, como, por exemplo, conceitos (sistema numérico), objetos (sistema telefônico ou corpo humano) ou pessoas (sistema social); contudo, não é um elemento indivisível, mas um todo que pode ser dividido em partes. Assim, esse conjunto, bem como seus integrantes, deve possuir as três características a seguir (ACKOFF, 1974):

- a) As propriedades, ou comportamento, de cada elemento tem efeito sobre o todo;
- b) As propriedades e o comportamento de cada elemento, assim como a maneira que eles afetam o todo, dependem, pelo menos, das propriedades e do comportamento de um outro elemento do grupo, isto é, nenhuma parte tem interferência independente no conjunto;
- c) Todo subgrupo de elementos deve ter as duas primeiras propriedades – nenhum deles tem efeito independente sobre o todo -, pois, assim, o conjunto não pode ser decomposto em partes independentes.

Devido à essas três propriedades, o grupo de componentes que forma o sistema sempre tem alguma característica ou comportamento que nenhuma das outras partes possuem, elucidando que um sistema é mais do que a soma das partes; em outras palavras, mesmo ele seja *estruturalmente* divisível, ele não pode ser *funcionalmente* divisível. Por conseguinte, nenhum problema pode ser analisado de maneira isolada, mas, sim, deve-se ponderar ele como uma parte um sistema maior, visto que o seu desempenho depende no modo como ele se relaciona com o seu ambiente e com os demais elementos existentes (ACKOFF, 1974).

Quando direcionado para a produção, Meredith e Shafer (2002) apontam que um sistema é a junção proposital de pessoas, elementos e processos, os quais têm como intenção trabalhar em um recinto. Para Gaither e Fraizer (2002, p.15), “o sistema de produção transforma insumos – matérias-primas, pessoal, máquinas, prédios, tecnologia, dinheiro, informação e outros recursos – em saídas – produtos e serviços”. Dessa forma, o setor de produção tem a incumbência de modificar insumos, transformando-os em produtos ou serviços úteis, e, conseqüentemente, gerar valor a uma respectiva instituição. Para isso, um sistema de produção deve (GAITHER; FRAIZER, 2002) (Figura 1): (a) receber insumos em quaisquer formatos; (b) modifica-los em um subsistema de transformação até que se obtenha o serviço e/ou produto final desejado; (c) controla-los em um subsistema de controle, para, então, definir se sua quantidade, qualidade e custo estão dentro dos padrões esperados; e, caso contrário, (d) tomar ações corretivas, as quais são asseguradas pela retroalimentação fornecida aos gerentes a partir do processo anterior (c).

Figura 1 - Modelo de Sistema de Produção



(Fonte: adaptado de Gaither e Fraizer, 2002)

Neste modelo, como o ambiente é impactado pelos fatores externos ao sistema de produção, é necessário considera-los, mesmo que não seja possível controla-los; ademais, é preciso monitorar o sistema como um todo, visto que o ambiente possui natureza dinâmica e pode acabar por se desvirtuar do objetivo proposto. Portanto, a partir da retroalimentação, ações corretivas devem ser direcionadas aos sistemas de entrada e/ou de transformação para, então, serem corrigidos e reproduzidos (MEREDITH; SHAFER, 2002). Dessa maneira, um sistema de transformação é um conjunto interligado de subsistemas, o qual interage com o sistema inteiro (GAITHER; FRAIZER, 2002).

Hopp e Spearman (2000) têm uma visão similar a essa abordagem, visto que definem um sistema de produção¹ como sendo uma rede de processos, orientados por um objetivo, através da qual entidades fluem. Nesta abordagem é possível contemplar a visão de produção como fluxo, além da influência mútua entre os diversos processos que formam o sistema de produção, e sobretudo a meta a ser alcançada (SCHRAMM, 2004). Assim sendo, Hopp e Spearman (2000) apontam que a fase de projeto do sistema é o início da porção de engenharia da análise de sistemas, pois, enquanto na análise de operações trabalha-se do real para o idealizado (a partir de um modelo), nos sistemas de design (*design systems*) funciona ao revés; esse processo baseia-se na tradução dos resultados modelados para as políticas de implementação a partir da otimização do modelo, a qual é fundamentada em medidas de efetividade e na validação da robustez da solução via análise sensível. Esses mesmos autores salientam que, não importa o quão bom seja o modelo das soluções matemáticas e/ou simbólicas, ele permanece sendo uma simplificação da realidade e, por isso, necessita de interpretações que nunca poderão ser mecanizadas.

A partir dessa colocação, pode-se dizer que o fator humano é essencial para os sistemas de produção, tendo em vista que, além de ser um meio de conexão das partes do sistema, ele é a principal recurso responsável por desenvolver, planejar e produzir (JACOBSEN *et al.*, 2002). Portanto, de acordo com Jacobsen *et al.* (2002), o sistema de produção é formado por quatro valores igualmente valorados e intimamente interligados:

¹ Hopp e Spearman (2000) utilizam, ao longo do seu livro “Factory Physics”, o termo *sistema de manufatura*, ao invés de sistema de produção, pois seu foco restringe-se apenas à produção de bens tangíveis, não incluindo a prestação de serviços. Dessa forma, o termo utilizado por eles tem significado semelhante ao proposto pelos demais autores citados neste capítulo, os quais não fazem tal distinção e o generalizam como *sistema de produção*, assim como este trabalho também o faz.

- a) **Recursos Humanos:** define as qualificações e as competências presentes quando o sistema inclui a manufatura;
- b) **Tecnologia:** é necessária para produzir as partes, pois ela transforma os insumos em produtos;
- c) **Informação:** tem como objetivo manter o sistema funcionando como um todo, pois ela forma a interface entre os diversos elementos existentes e integra as suas funções;
- d) **Organização:** define o modo como a instituição planeja e organiza a produção, sendo responsável pela possibilidade de flexibilizar as atividades (*job enlargement*), proporcionar o crescimento pessoal dos funcionários (*enrichment*) e pela capacidade de entender, organizar e sistematizar uma atividade (*creativity*).

2.1.1 Sistemas de Produção por Projeto

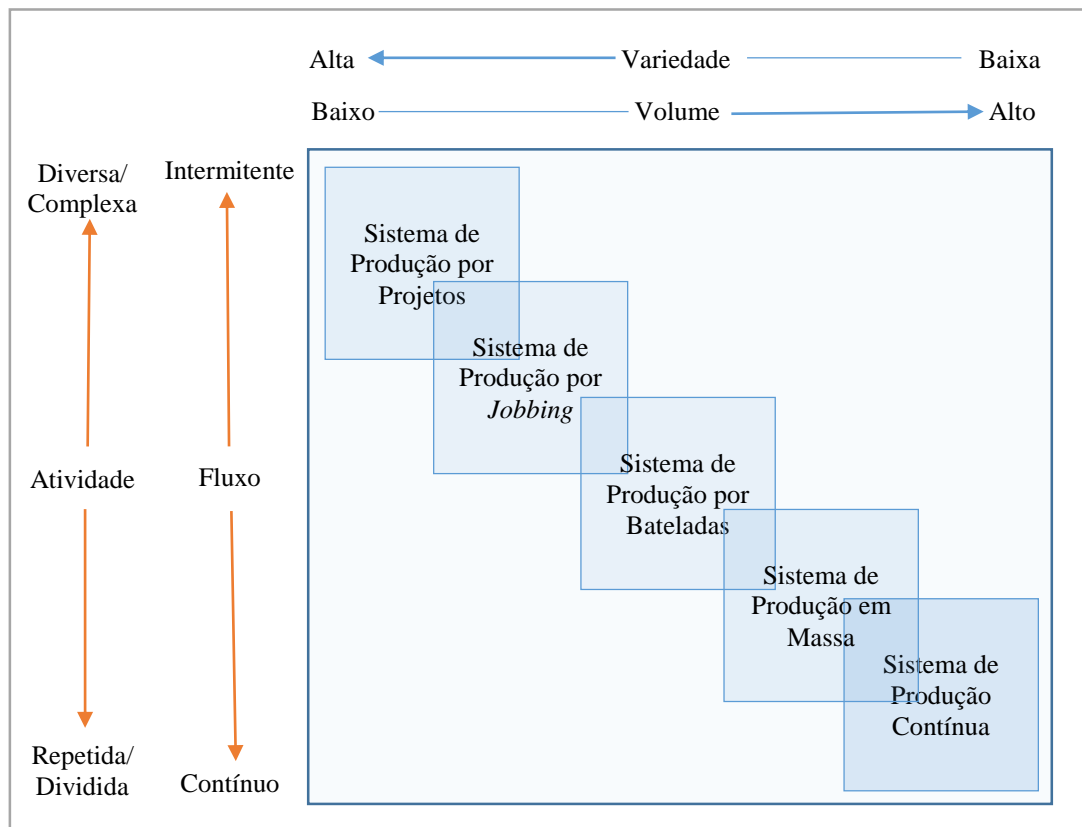
Há diversas classificações para os sistemas de produção, os quais baseiam-se em fatores variados (BALLARD; HOWELL, 1998; ASKIN; GOLDBERG, 2002). Slack et al. (2006) afirmam que a forma como os processos são geridos depende do volume, da variedade, da variabilidade e da visibilidade; contudo dois desses fatores são particularmente importantes: o volume e a variedade dos produtos e serviços processados. Assim, a categoria proposta por Hayes e Wheelwright (1979), chamada de Matriz Produto-Processo ou Matriz Volume-Variedade, é a que geralmente aparece na literatura (BALLARD; HOWELL, 1998; HOPP; SPEARMAN, 2000; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007). Desse modo, pode-se dizer que a relação volume-variedade do produto tem influência tanto no desempenho do sistema de produção, bem como em suas atividades de projeto, quanto no enfoque utilizado para gerenciá-lo.

Quando não há equilíbrio entre esses dois fatores, tem-se os tipos de sistemas, os quais se diferenciam a partir do tipo de tarefa realizada e da maneira como os materiais, informações, e clientes fluem através do processo (SLACK et al., 2006). Assim sendo, Slack et al. (2006) elencam cinco abordagens para gerenciar os sistemas de produção, as quais possuem um certo nível de sobreposição entre si (Figura 2):

- a) Sistema de Produção por Projeto:
- b) Sistema de Produção por *Jobbing*

- c) Sistema de Produção em Bateladas (Lotes)
- d) Sistema de Produção em Massa
- e) Sistema de Produção Contínua

Figura 2 - Tipos de Sistemas de Produção



(Fonte: adaptado de Slack *et al.*, 2006)

A partir desse quadro é possível inferir que a construção civil enquadra-se no sistema de produção por projeto, visto que (a) os produtos são altamente customizados; (b) o processo ocorre por um período de tempo bastante definido; (c) a sua escala de tempo de manufatura é relativamente longa, assim como o intervalo entre produtos finais; (d) os recursos são arranjos especificamente para cada produto; e (e) as atividades realizadas são complexas, mal definidas, possuindo um alto grau de incerteza (SLACK *et al.*, 2006; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007). Ademais, Ballard e Howell (1998) apontam as seguintes características principais desse sistema: (a) caráter único; (b) duração finita; (c) organização temporária; (d) fluxo de trabalho desordenado e intermitente; e (e) atividades múltiplas, geralmente simultâneas e interdependentes.

Portanto, se faz necessário a elaboração de um plano de execução do projeto no princípio das atividades, o qual deve ser modificado ao passo que o projeto vai se adaptando às novas condições de contorno (GAITHER; FRAZIER, 2002). Em razão disso, o planejamento e o controle da produção são as principais ferramentas da gestão dos sistemas de produção por projetos e devem ser atualizados diversas vezes durante o ciclo de vida do empreendimento, visto que o replanejamento não é um sinal de má gestão e nem de fracasso, pelo contrário - em projetos com incertezas ele se torna uma prática comum, pois, na verdade, quanto maior o tempo decorrido, mais informações há acerca do projeto e menos incerto ele se torna (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007). Assim, de acordo com Slack, Chambers e Johnston (2007), para planejar e controlar esse sistema de maneira efetiva, é necessário dividi-lo em partes gerenciáveis, isto é, estruturar o projeto em grupos de tarefas - atividades principais e subgrupos – até que se tenha pequenos pacotes de trabalho, os quais possuem seus próprios objetivos em termos de prazo, custo e qualidade (*value engineering*); essa estrutura é chamada de *Work Breakdown Structure* (WBS), também conhecida como Estrutura Analítica de Projeto (EAP), e serve de ponto de partida para a elaboração do planejamento do projeto, pois clarifica e define o processo como um todo. Além disso, o WBS ou EAP permite a preparação do cronograma de execução da edificação, de modo que passa a ser traduzido em uma linha de balanço, gráfico de Gantt e/ou em redes PERT/CPM (*Program Evaluation and Review Technique / Critical Path Method*), por exemplo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007).

2.1.2 Nova Abordagem acerca da Gestão da Produção da Construção Civil

De acordo com Koskela (2003), ainda não há um consenso sobre as causas dos problemas da indústria da construção, além de não se ter provas concretas que respondam a melhor maneira de renovar o setor. O mesmo autor aponta que uma das muitas iniciativas recorrentes é a de reformular a concepção do sistema de produção, ou seja, mudar estruturalmente a forma como os produtos são produzidos. A partir de uma análise histórica, pode-se dizer que há três conceitos diferentes acerca da produção, os quais foram sendo testados e trabalhados ao longo do século XX (KOSKELA, 2000):

- a) Produção como a transformação de insumos em produtos – principal abordagem da indústria manufatureira;
- b) Produção como fluxo, visto que a transformação dá lugar à espera, à inspeção e à movimentação – base conceitual do *Lean Production*;

- c) Produção como um meio de preencher as necessidades dos clientes e, assim, diminuir perdas – utilizado como princípio da Gestão da Qualidade Total e da produção customizada.

No entanto, nenhum dos três conceitos citados acima pode ser considerado ideal de maneira isolada - eles precisam ser trabalhados simultaneamente (KOSKELA, 2003). Assim sendo, tem-se um modelo de produção baseado na abordagem transformação-valor-fluxo (TVF), a qual considera um dos principais problemas do fluxo de produção - as atividades que não agregam valor ao sistema, também conhecidas como desperdícios (transportes desnecessários, atrasos na produção e inspeção final da qualidade do produto) (KOSKELA, 2000; KOSKELA, 2003). Koskela (2003) aponta três causas para a ocorrência desses desperdícios: a estrutura do sistema de produção – fluxo físico; o modo como a produção é controlada – os princípios e as inconformidades do controle podem produzir desperdícios; e a natureza inerente da produção – aparição de inconsistências, falha de equipamentos, acidentes, erro humano, etc. Essas três fontes de desperdício se diferenciam de acordo com a fase da produção e, por isso, necessitam de três abordagens distintas para serem solucionadas, justificando, pois, os três aspectos existentes da gestão da produção: projeto, controle e melhorias (KOSKELA, 2003).

Ademais, a indústria da construção difere da manufatura no quesito peculiaridades, visto que os projetos são únicos, há produção no próprio canteiro e utiliza-se instalações temporárias para confecção do produto (KOSKELA, 2003). No caráter de singularidade, este não é um fator único da construção civil, contudo ele é causado pelas diferentes necessidades e prioridades do cliente, pelos distintos locais e ambientes a que a edificação está sujeita, e pelos diversos pontos de vista propostos pelos projetistas (WARSZAWSKI, 1990² *apud* KOSKELA, 2003); desse modo ele é caracterizado por dois fatores: a concepção de projeto é parte integrante da produção e há incerteza proveniente da aceitação do consumidor (KOSKELA, 2003). Já no quesito produção no canteiro, ele se refere a questões, como, por exemplo, a localização ser um insumo; a inexistência de telhado sobre a produção; a necessidade de planejar, comprar e montar a infraestrutura de produção, bem como a viabilidade do espaço para a manufatura, visto que as estações de trabalho são móveis em relação ao produto (KOSKELA, 2003). Por fim, em relação às instalações temporárias, têm-se elas planejadas e montadas apenas para o projeto em específico, além de que as empresas contratadas e as práticas construtivas empregadas podem

² Warszawski, A. **Industrialization and Robotics in Building: A Managerial Approach**. Harper & Row: New York, NY. 1990.

nunca terem sido testadas ou trabalhadas em conjunto anteriormente e estão amarradas ao projeto pelas mais diversas formas contratuais (KOSKELA 2003). Por conseguinte, pode-se traduzir o conceito de unicidade da construção como a existência de diversos materiais empregados, sabendo que cada um requer uma técnica de projeto e instalação diferente (KOSKELA, 2003).

Assim, Koskela (2000) sugere que as peculiaridades da construção têm um impacto considerável na estrutura e no comportamento do fluxo de materiais, pois há três tipos diferentes de fluxo (material, localização e montagem) em ação, gerando um alto nível de variabilidade: a produção é do tipo montagem - a qual é naturalmente vulnerável à variabilidade de fluxo -; a construção é por natureza um protótipo; e, diferentemente das fábricas, uma parte da edificação pode estar utilizando diversas frentes de trabalho ao mesmo tempo (KOSKELA, 2003). Dessa forma, como há várias fontes de variabilidade no processo, a produção deve ser projetada, controlada e avaliada para minimizar tais problemas. Por isso, foi constatado por Koskela (2000) que o método TVF também pode ser aplicado na indústria da construção civil de maneira efetiva, visando a otimização da gestão da produção; todavia é necessário compreender seus princípios ao utilizar o método, os quais devem ser implementados em todas as fases do sistema.

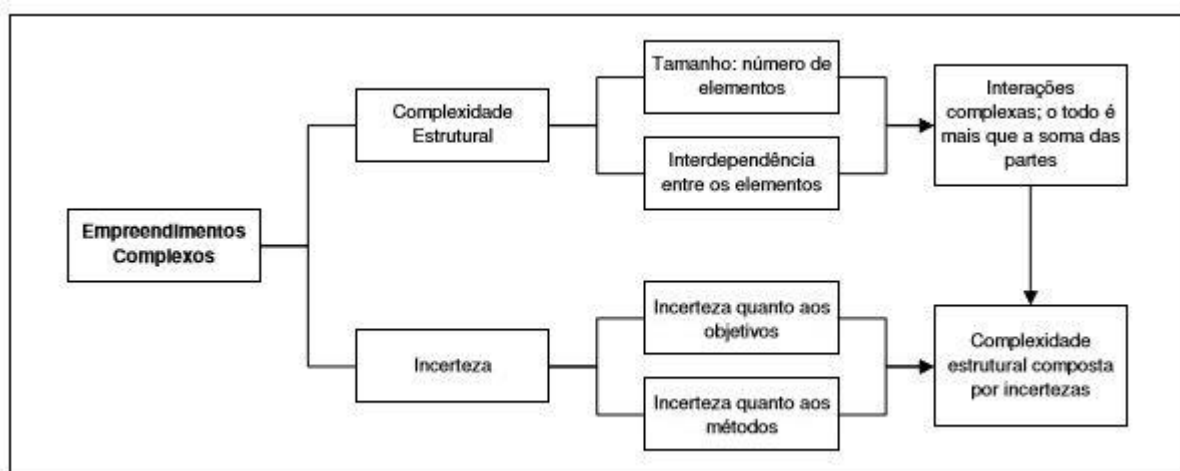
2.2 PROJETOS COMPLEXOS

Projeto, segundo Buchanan e Boddy³ (1992 *apud* WILLIAMS, 2002), é um empreendimento único, com um começo e um fim, conduzido por pessoas com o intuito de alcançar metas estabelecidas dentro dos preceitos de custo, cronograma e qualidade. Para trabalhar em ambientes baseados em projetos, ao invés de operações, é preciso entender que os projetos (TURNER, 1993): (a) são únicos e não repetitivos; (b) são limitados pelo tempo; (c) trazem melhorias revolucionárias; (d) usam equipes de pessoas novas ou transitórias; (e) geralmente começam sem precedentes; (f) são baseados em objetivos; e (g) são arriscados, pois um projeto começa com uma experiência limitada. Além disso, os objetivos de um projeto são avaliar o que aconteceu, está acontecendo ou irá acontecer com o objeto observado; logo, é necessário defini-lo de maneira clara e objetiva para, então, seu sucesso ou seu fracasso ser passível de mensuração a partir dos três critérios de projeto (escopo, tempo e custo) (WILLIAMS, 2002).

³ Buchanan, D. A. and Boddy, D. The Expertise of the Change Agent: Public Performance and Backstage Activity. Prentice-Hall: London. 1992.

A respeito do termo complexo, pode-se dizer que ainda não há uma definição precisa do seu significado, e, sim, apenas o consenso de que um empreendimento complexo vai além do seu grande porte (WILLIAMS, 2002). De acordo com Rescher (1998), complexidade se refere à quantidade e à diversidade das partes constituintes, bem como das suas inter-relações, as quais podem ser consideradas como interconectividade (MITLETON-KELLY, 2000). Essa característica infere que uma decisão ou ação individual afeta as partes constituintes do todo de maneira não uniforme, pois isso depende da fase em que cada elemento se encontra (RODRIGUES, 2006). Assim, no âmbito da construção civil, Gidado (1996) afirma que a complexidade tem sua origem na grande quantidade de elementos empregados, isto é, no conjunto entre variedade de recursos e conhecimentos necessários, além da grande conexão entre as distintas partes do empreendimento, as quais possuem métodos e objetivos diferentes, mas que, para a sua sanidade, devem trabalhar em conjunto (BERTELSEN, 2003). Ademais, Williams (2002) explica os empreendimentos complexos como aqueles que possuem uma complexidade estrutural, ou seja, um produto complexo, além das incertezas nas metodologias e nos escopos, as quais podem ser qualificadas como incerteza nos objetivos, que geralmente estão vinculadas à dificuldade de compreensão das solicitações dos clientes, ou como incertezas nos métodos, isto é, incerteza nos sistemas de distribuição, de montagem, de tarefas, tecnológicos, entre outros (Figura 3).

Figura 3 - Dimensões dos Empreendimentos Complexos (*Complex Projects*)



(Fonte: baseado em Williams, 2002)

Por fim, pode-se dizer que um empreendimento complexo apresenta diversos elementos conectados, além das suas incertezas quanto aos métodos e aos objetivos, no qual o comportamento do todo é mais do que a soma das suas partes (WILLIAMS, 2002).

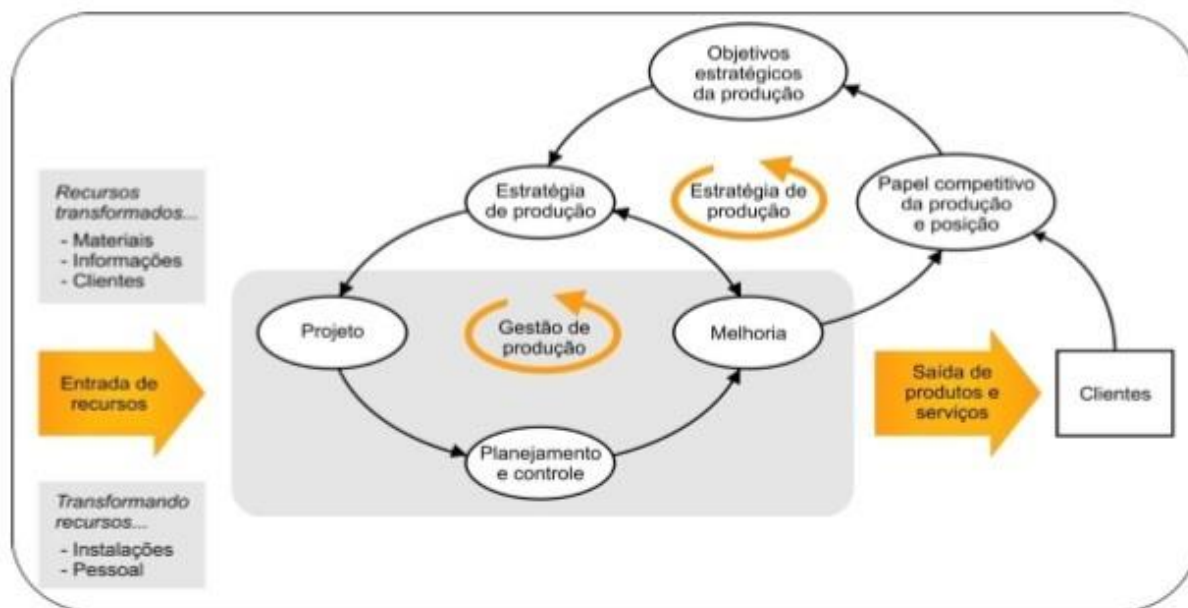
2.3 GESTÃO DA PRODUÇÃO

A gestão de operações pode "fazer ou quebrar" qualquer negócio ((SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007); não só porque a parcela da produção em uma organização é significativa, geralmente representando a maior parte dos ativos e das pessoas, mas porque torna o negócio competitivo, fornecendo a capacidade de responder aos clientes e desenvolvendo os recursos que o manterá à frente de seus concorrentes no futuro (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007). Desse modo, a gestão da produção baseia-se na atividade de gerenciar insumos e produtos de modo a reduzir custos, aumentar a lucratividade, reduzir a necessidade de investimentos e aumentar a inovação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007).

Conforme citado anteriormente, Koskela e Ballard (2003) constataam que a gestão da produção pode ser dividida em três partes, sendo elas: (a) o Projeto de Sistema de Produção; (b) a operação do Sistema de Produção, a qual pode ser dividida em planejamento, controle e correção; e (c) a realização de melhorias do Sistema de Produção. Slack, Chambers e Johnston (2007) corroboram essa abordagem e alegam que a gestão de operações pode, também, ser dividida em gestão e estratégia de produção, na qual as suas principais funções são (Figura 4): (a) compreender os objetivos da estratégia de produção; (b) desenvolver uma estratégia de produção para a organização; (c) projetar a operação dos processos, serviços e produtos; (d) planejar e controlar a produção; (e) melhorar o desempenho da produção; e (f) definir as responsabilidades gerais do gerenciamento da produção.

Dessa forma pode-se dizer que este presente trabalho realizou o Projeto do Sistema de Produção do empreendimento IPE e, portanto, buscou compreender os objetivos da estratégia de produção para, então, projetar a operação dos processos, serviços e produtos.

Figura 4 - Modelo de Gestão e Estratégia da Produção



(Fonte: baseado em Slack, Chamber e Johnston, 2007 *apud* Biotto, 2012)

2.4 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

Projetar é conceber o aspecto, o arranjo e o funcionamento de algo antes de ele ser construído (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007). Nesse sentido, é um exercício conceitual, que deve entregar uma solução que funcione na prática, assim como é uma atividade que pode ser abordada em diferentes níveis de detalhe. Portanto, é importante ressaltar que o Projeto do Sistema de Produção deve compreender seus objetivos desde o seu período de incubação e, para isso, deve-se posicioná-lo de acordo com a sua característica de volume e variedade – neste caso, Sistema de Produção por Projeto (SLACK et al., 2006).

Assim, o Projeto do Sistema de Produção consiste na concepção dos sistemas produtivos, o qual requer conhecimento acerca da estratégia de produção, dos projetos de produtos ou serviços, da tecnologia do sistema de produção e do mercado (GAITHER; FRAZIER, 2002). Todas essas informações auxiliam na elaboração do planejamento detalhado da produção, momento em que diversas decisões são tomadas, tais como a definição dos equipamentos, o *layout* do canteiro, o nível de capacidade produtiva, a sincronização entre os processos de produção, entre outras (GAITHER; FRAZIER, 2002; SCHRAMM, 2004). Como consequência, pode-se reduzir o nível de desperdícios, melhorar o alinhamento das tarefas a serem realizadas, sincronizar as atividades e as entregas de materiais, melhorar a distribuição e

organização do canteiro, além de melhorar o controle da segurança e da obra como um todo, podendo proporcionar, assim, um progresso contínuo e eficaz ao empreendimento (BALLARD et al., 2001).

Para tanto, deve-se gerar e avaliar diversas alternativas de organização do sistema de produção, visto que este pode variar de acordo com o avanço da construção e precisa ser constantemente atualizado (MEREDITH; SHAFER, 2002; SLACK et al., 2006). Ademais, deve-se ter consciência de que todas as decisões tomadas são interdependentes e que qualquer alteração individual irá afetar todo o sistema (MEREDITH; SHAFER, 2002). Sendo assim, as atividades que integram o escopo de decisões do Projeto do Sistema de Produção são abordadas nos tópicos a seguir: (a) definição do nível de integração vertical; (b) planejamento da capacidade produtiva; (c) definição do *layout*; (d) definição de fluxos e sincronia da produção; e (e) concepção do projeto de processos.

2.4.1 Nível de Integração Vertical

Nenhuma empresa produz todos os insumos necessários para a produção de seus produtos e serviços; sempre há algum processo de terceirização envolvido (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007). Contudo, é necessário decidir o que será comprado de terceiros e o que será fabricado internamente, pois isso moldará a natureza fundamental de qualquer negócio e fará parte da sua estratégia de gestão da cadeia de suprimentos (ASKIN; GOLDBERG, 2002). Esse questionamento é conhecido como a decisão de "fazer ou comprar", quando se trata de componentes ou atividades individuais, ou "integração vertical", quando a questão é sobre a quantidade de processos ou produtos que estão sob o domínio da empresa, isto é, que são produzidos por ela mesma (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007; GAITHER; FRAZIER, 2002). Assim sendo, a integração vertical pode ser definida em termos de três fatores (SLACK et al., 2006): (a) a direção da integração vertical – expansão da sua cadeia produtiva (aquisição de terceiros); (b) a extensão da integração vertical – integração da produção (internalização de atividades); e (c) o balanço entre estágios – nível de exclusividade entre operações.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2007), a maioria das empresas recorrem à terceirização devido às despesas, porém essa decisão pode impactar os seguintes fatores, além do custo, de maneira positiva ou negativa: qualidade, rapidez, confiabilidade e flexibilidade. Outro fator de extrema importância que deve ser considerado é o valor estratégico da atividade para a

organização, em outras palavras, os elementos que tem influência direta com as competências básicas da empresa - grande parte das empresas tem interesse em terceirizar tarefas de alta taxa de repetição, baixa variedade e baixo risco envolvido (*commodity*), todavia não o faz com peças-chaves da produção (ASKIN; GOLDBERG, 2002; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007).

2.4.2 Capacidade de Produção

De acordo com Gaither e Frazier (2002), capacidade de produção é a cadência máxima de produção de uma organização, a qual precisa ser definida. Segundo o *Federal Reserve Board*⁴, (*apud* GAITHER; FRAZIER, 2002) a capacidade prática sustentável é o “maior nível de produção que uma empresa pode manter dentro da estrutura de uma programação de trabalho restrita, considerando um período de inatividade (*downtime*) normal e supondo uma disponibilidade suficiente de entradas para operar a maquinaria e o equipamento existentes”. No entanto, Hopp e Spearman (2000) salientam que, na maioria dos casos, trabalhar na capacidade ou acima dela torna o sistema instável, e somente alguns sistemas específicos conseguem operar de maneira estável nesse patamar. Sendo assim, deve-se compreender que toda operação é uma associação de processos, nos quais cada um deles tem sua própria capacidade, e que para o conjunto operar de maneira eficiente, todas as atividades devem ter o mesmo nível de rendimento, pois, se não, a habilidade do todo será limitada pela capacidade da tarefa mais lenta, gerando os conhecidos gargalos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007). Portanto, é necessário projetar a capacidade do sistema, para, então, determinar os recursos necessários para atender à sua demanda, devendo ser considerado as limitações de tempo e disponibilidade máxima de recursos (SLACK *et al.*, 2006; ALVAREZ; ANTUNES JR, 2001)

2.4.3 Layout

O *Layout* de uma operação constitui a maneira como os recursos transformadores estão posicionados entre si e como as diversas tarefas a serem realizadas estão alocadas em relação a eles (SLACK *et al.*, 2006). Dessa forma ele determina o fluxo do processo como um todo, pois, se está posicionado de maneira insatisfatória, pode gerar um fluxo extenso ou confuso, filas,

⁴ O *Federal Reserve Board* mede e acompanha a produção e a capacidade industriais nos Estados Unidos – www.bog.frbJed.us.

operações inflexíveis e custos elevados (SLACK *et al.*, 2006). Assim sendo, deve-se buscar satisfazer os seguintes pontos ao planejar o arranjo físico do sistema de produção (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007): (a) segurança; (b) extensão do fluxo satisfatória; (c) clareza do fluxo adotado; (d) boas condições de trabalho; (e) gestão coordenada; (f) acessibilidade para manutenção dos equipamentos; (g) otimização da utilização do espaço; e (h) flexibilidade para alterações no longo prazo.

Do modo como há os tipos de sistemas, há, também, os tipos de *layout*, ao passo que existe uma certa relação entre o tipo de sistema e a forma como ele é arranjado fisicamente (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007). Logo, os *layouts* variam a partir de quatro formas básicas, as quais são (ASKIN; GOLDBERG, 2002; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007):

- a) **Layout por Produto:** geralmente é utilizado em sistemas de produção repetitiva, dados que a demanda e o apreço econômico são suficientemente altos para justificar a utilização dos recursos transformadores para apenas um produto em específico, visto que os insumos fluem pela linha de montagem até que todo o processo seja concluído;
- b) **Layout Funcional (por Processo):** está em conformidade com as necessidades e conveniência das funções desempenhadas pelos recursos de transformação que constituem os processos, isto é, é utilizado quando os produtos são muito distintos e há a necessidade de conhecimento especializado nos processos de produção, agrupando-se aqueles que são similares e cria-se, assim, um padrão de fluxo bastante complexo;
- c) **Layout Celular:** os insumos, ao entrar no processo de produção, são pré-selecionados para a sua respectiva célula de transformação, onde todos os recursos necessários para a sua produção estão disponíveis. Este arranjo é uma tentativa de organizar o fluxo complexo que caracteriza o Layout Funcional;
- d) **Layout de Posição:** os recursos transformados não se movem entre os recursos transformadores, em outras palavras, em vez de materiais, informações ou clientes fluírem através de uma operação, o destinatário do processamento é estacionário e o equipamento, a maquinaria, a planta e as pessoas que realizam o processamento se movem conforme necessário.

Isso posto, é correto dizer que a construção civil se encaixa no *Layout* Posicional, na medida em que há uma quantidade limitada de espaço que deve ser alocada aos vários recursos de transformação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007). Contudo, ela utiliza-se também do *Layout* Funcional, pois há diversos subsistemas que fornecem peças e pré-montagens para a produção do todo (SAURIN, 1997). Na prática, a eficácia de um *layout* está vinculada ao planejamento da obra e à confiabilidade das entregas, visto que, na maioria dos canteiros, não há espaço para alocar permanente cada empreiteiro que, em algum momento, precisa ter acesso ao empreendimento, tornando o arranjo físico vulnerável a quaisquer interrupções no planejamento e no controle do projeto (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007).

2.4.4 Fluxos e Sincronia da Produção

Conforme apontado por Koskela (2000), pode-se diminuir falhas e retrabalhos, além de aumentar ganhos com qualidade e produtividade, a partir da eliminação de fluxos que não agregam valor ao produto final. O fluxo contínuo é uma das maneiras de se alcançar esse propósito, pois ele tem como base a movimentação contínua de pequenos lotes de trabalho ao longo das diversas etapas de produção, nas quais deve-se realizar apenas aquilo que será necessário na próxima atividade (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2008). Para obter o fluxo contínuo na produção, três variáveis de tempo devem ser compreendidas:

- a) **Takt-time**⁵: está relacionado ao ritmo da produção necessário para atender à demanda, ou seja, a taxa de demanda decide a frequência na qual este deve ser produzido, não sendo um dado absoluto, e, sim, determinado. Ademais, isso não interfere na capacidade de produção, visto que a empresa pode trabalhar tanto nos níveis de atendimento à demanda quanto nos de utilização da capacidade (ALVAREZ; ANTUNES, 2001);
- b) **Lead Time**: tempo em que o produto se movimenta por todas as etapas de um processo, desde a matéria prima até o produto acabado (ROTHER; HARRIS, 2002); e
- c) **Tempo de Ciclo**: tempo com que uma peça ou produto é completado por um processo, incluindo toda as operações e seus respectivos tempos (produção, carregamento, transporte, espera, etc.) (ROTHER; HARRIS, 2002). Em outras palavras, mantidas as

⁵ É o tempo disponível para a produção, dividido pela demanda do cliente (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2008). Na construção civil pode haver ritmos distintos, dependendo do processo, acarretando no surgimento de folgas entre as atividades (BULHÕES et al., 2005)

condições atuais, é o maior ritmo possível de um sistema, visto que o tempo total está vinculado ao processo mais lento (ALVAREZ; ANTUNES, 2001).

Desse modo, a sincronização do sistema de produção tem como premissa a chegada pontual dos componentes nas estações de trabalho, a não formação de estoques entre os processos (gargalos), a eliminação de atrasos, a constante melhora da qualidade e, por fim, a minimização dos custos; sendo similar às premissas do de fluxo contínuo (RODRIGUES; MACKNESS, 1998). Para Rother e Harris (2002), a utilização do fluxo contínuo é importante, pois acarreta em diversos impactos na produção devido:

- a) Ao uso otimizado de recursos, o que aumenta a produtividade e reduz custos;
- b) Ao curto *lead time* – maior rapidez na produção;
- c) À rápida identificação e correção dos problemas;
- d) À maior comunicação entre as operações.

De acordo com Rodrigues e Mackness (1998), há três metodologias para a sincronizar a produção: (a) Just in Case; (b) Just in Time e (c) tambor-pulmão-corda (TPC) da teoria das restrições. A primeira é uma abordagem mais tradicional, visto que pressupõe a otimização do desempenho do sistema global a partir da maximização e do controle das atividades individuais (RODRIGUES; MACKNESS, 1998). Já a segunda trabalha com uma produção puxada pela demanda do mercado, isto é, desenvolve um conjunto de processos balanceados, nos quais os produtos são produzidos somente quando necessários (RODRIGUES; MACKNESS, 1998). A terceira, é proposta pela teoria das restrições, a qual é uma junção dos sistemas puxados e empurrados; ela reconhece a existência de gargalos em qualquer processo, sendo o primeiro passo identificá-los e definir sua máxima capacidade (tambor), para, então, subordinar os demais recursos a essa condição (corda), e, por fim, atribuir *buffers* anteriormente aos gargalos (pulmão) para garantir a taxa de produção e o cumprimento do prazo de entrega (RODRIGUES; MACKNESS, 1998).

Sendo assim, a teoria das restrições orienta a gestão da produção a partir de nove conceitos, sendo eles (MEREDITH; SHAFER, 2002):

- a) Balancear (sincronizar) fluxos e não capacidades;
- b) A utilização de um não-gargalo é determinada por outras restrições do sistema;

- c) A utilização de uma estação de trabalho (quando o material ainda não é necessário) não é o mesmo que ativação;
- d) Uma hora perdida em um gargalo é uma hora perdida em todo o sistema;
- e) Uma hora salva em um recurso não-gargalo é uma miragem – eles não possuem capacidade plena e não limitam a produção, ou seja, poupar tempo não refletirá na produção total;
- f) Os gargalos governam tanto o ganho quanto o estoque;
- g) O lote de transferência (entre diferentes tarefas) não precisa ser do mesmo tamanho do lote de processo (produção em cada atividade);
- h) O tamanho do lote de transferência deve ser variável, e não fixo, pois o tempo de produção é diferente em cada atividade;
- i) A programação da produção deve ser estabelecida ponderando todas as restrições de maneira simultânea.

2.4.5 Projeto de Processos Críticos

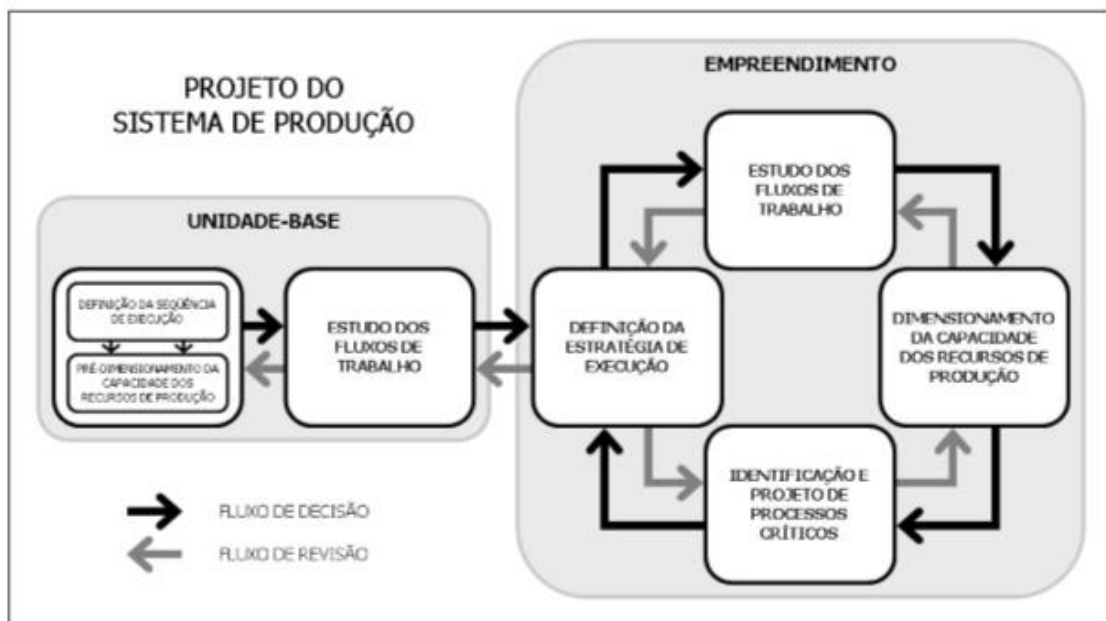
Conforme apontado por JURAN (1992), o projeto de processos define a metodologia de ataque da produção, isto é, esquematiza e descreve os processos específicos que serão necessários para a produção (GAITHER; FRAZIER, 2002). O mesmo autor aponta que, a partir do projeto de processos, é possível determinar as particularidades do sistema como um todo, os equipamentos que deverão ser provisionados, os *softwares* que serão utilizados e todas as demais informações pertinentes à logística do empreendimento (JURAN, 1992). No entanto, nem todos os dados estão disponíveis ou conseguem ser previstos quando elaborado o projeto, necessitando, pois, da experiência prática da implementação, a qual fornece subsídios para a análise e melhoria do processo (ROTHER; HARRIS, 2002). Logo, uma via para aumentar a produtividade do sistema seria a elaboração de um protótipo que auxiliasse na otimização do projeto do processo (SLACK et al., 2006). Segundo Meredith e Shafer (2002), essa prototipagem pode ser real (física) ou modelada (geração 3D computacional), porém ela deve considerar o projeto do produto em si, a viabilidade tecnológica e de equipamentos, o *layout* e a logística do canteiro, o tamanho dos pacotes de trabalho a serem utilizados, os fatores ambientais, a segurança e a capacidade técnica da equipe empregada (HOWELL; BALLARD, 1999).

2.5 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.5.1 Etapas de Elaboração do PSP

Para elaborar o PSP de um empreendimento residencial com o auxílio da modelagem BIM 4D, este trabalho baseou-se na sequência de decisões proposta por Schramm (2004), a qual tem 6 etapas características, sendo elas: (a) Definição da Sequência de Execução e Pré-dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção; (b) Estudo dos Fluxos de Trabalho na Unidade-Base; (c) Definição da Estratégia de Execução do Empreendimento; (d) Estudo dos Fluxos de Trabalho no Empreendimento; (e) Dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção; e (f) Identificação e Projeto de Processos Críticos. O método (SCHRAMM, 2004) se encontra detalhado na Figura 5 a seguir.

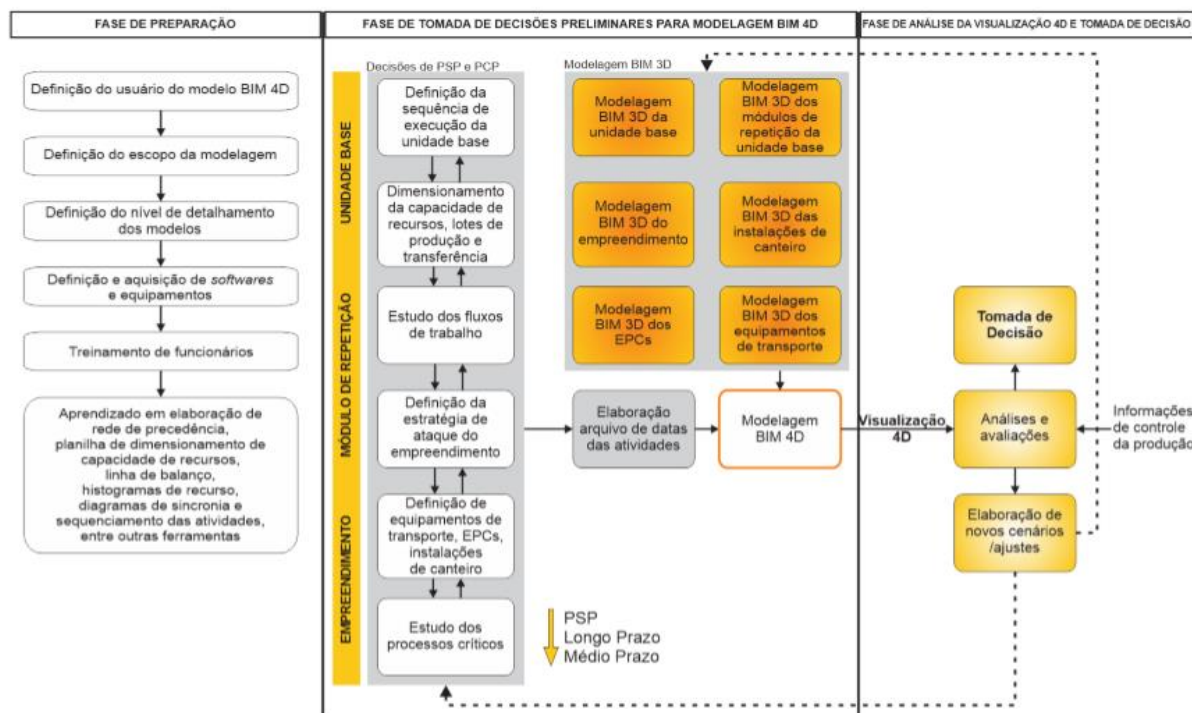
Figura 5 - Método de Elaboração do PSP



(Fonte: Schramm, 2004)

Contudo, a modelagem BIM acrescenta etapas ao inicialmente proposto por Schramm (2004), e, por isso, algumas atividades precisaram ser adicionadas ao método. Sendo assim, a Figura 6 apresenta o método de uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção de Biotto (2012), o qual também serviu como embasamento para a definição das etapas deste trabalho, pois, dentre todos os métodos com uso de modelagem BIM 4D já elaborados (RECK, 2013; SCHRAMM, 2015; BATAGLIN, 2017), este é o que mais se assemelha com o estudo em questão.

Figura 6 – Método de Uso da Modelagem BIM 4D na Gestão da Produção



(Fonte: Biotto, 2012)

Por conseguinte, a partir destes dois métodos, a sequência de execução do PSP relacionada a este trabalho foi definida e, a seguir, são enumeradas as fases que foram de fato pertinentes a esse estudo.

- 1) Elaboração da EAP
- 2) Definição da Sequência de Execução e Pré-dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção (SCHRAMM, 2009)
- 3) Estudo dos Fluxos de Trabalho na Unidade-Base (SCHRAMM, 2009)
- 4) Estudo dos Fluxos de Trabalho no Empreendimento (SCHRAMM, 2009)
- 5) Definição dos Parâmetros de Modelagem (usuários, escopo e nível de detalhamento) (BIOTTO, 2012)
- 6) Modelagem do Empreendimento (BIOTTO, 2012)
- 7) Modelagem e Análise do *Layout* do Canteiro (BIOTTO, 2012)

- 8) Definição da Estratégia de Execução do Empreendimento a partir da Modelagem 4D (SCHRAMM, 2009; BIOTTO, 2012)
- 9) Dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção (SCHRAMM, 2009)
- 10) Identificação e Projeto de Processos Críticos (SCHRAMM, 2009)
- 11) Análise e Discussão dos Resultados

Ademais, considerando que o processo de decisão do sistema de produção como um todo é interdependente, isto é, todas as ações/modificações realizadas em um ponto da cadeia de tarefas repercutem em maior ou menor grau nas demais atividades, as etapas não devem ser seguidas de forma isolada e sequencial. Logo, esse processo deve ser feito de maneira iterativa, a partir de um fluxo de decisão e outro de revisão para cada deliberação tomada.

2.5.2 PSP aplicado à Projetos Complexos

Para projetos com alto grau de incerteza é necessário ter uma abordagem um tanto quanto cautelosa, visto que há uma grande quantidade de recursos envolvidos e uma elevada interconectividade entre todos os processos do sistema de produção (Rodrigues, 2006). Sendo assim, Rodrigues (2006) sugeriu uma metodologia de elaboração do PSP para empreendimentos complexos, a qual se baseia na abordagem evolutiva do processo, dado que as informações passam a ser mais precisas e completas à medida que a execução da obra avança.

Ademais, Rodrigues (2006) aponta quais as fases em que o PSP deve ser realizado, sendo elas: (a) orçamento e contratação – decisões gerais e sem muito detalhamento; (b) início da obra – reavaliar as decisões já tomadas de acordo com o processo de implementação do canteiro; (c) em cada etapa definida do projeto, isto é, nas fases pré-estipuladas pelo planejamento, onde agrupa-se atividades de acordo com o tipo de mobilização necessária.

2.6 ABORDAGENS SIMILARES AO PSP NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A seguir são apresentadas abordagens similares ao PSP na construção civil, visto que ele é a tarefa responsável por estruturar os processos e os recursos anteriormente à execução do empreendimento (BALLARD, 1999). Contudo, como essa prática ainda não é muito utilizada na indústria da construção, ela está em processo de desenvolvimento e aprimoramento, tendo,

pois, algumas diferenças claras, como nomes, enfoques e focos, além de serem realizadas em etapas de execução distintas ao proposto pelo PSP.

2.6.1 Projeto das Operações

Na construção civil utiliza-se o termo projeto para produção para se referir ao projeto de processos, o qual foi citado anteriormente (MELHADO, 1994). Assim, segundo Melhado (1994):

(...) o projeto para produção é o conjunto de elementos de projeto elaborados de forma simultânea ao detalhamento do projeto executivo, para utilização no âmbito das atividades de produção em obra, contendo as definições de: disposição e sequência das atividades de obras e frentes de serviço, uso de equipamentos, arranjo e evolução do canteiro, dentre outros itens vinculados às características e recursos próprios da empresa construtora.

Entretanto, o projeto das operações abrange mais do que a etapa de produção do produto; ele permite que se tenha uma visão do conjunto do sistema, tanto na parte de produção quanto na de distribuição (HERRMANN, 2003). Dessa forma, ele precisa ser norteado pelos atributos do projeto do sistema de produção da própria organização, além de ser implementado na fase de concepção do projeto, visto que é a forma mais efetiva de repassar as informações necessárias para a edificação do empreendimento (RODRIGUES, 2006; SOUZA; MELHADO, 1998). No caso de projetos complexos nem sempre é possível detalhar todos os processos, portanto a definição das atividades a serem priorizadas deve considerar o impacto global no sistema de produção, a qual deve ser feita de maneira sistêmica (SCHRAMM, 2004).

Sendo assim, um projeto claro e de fácil compreensão para todos os envolvidos é de suma importância. Por essa razão, Halpin e Woodhead (1976) definiram quatro etapas que devem ser alcançadas quando elaborado e implementado o projeto, sendo elas:

- a) Desenvolvimento de um plano realizável;
- b) Seleção de equipamentos e de mão de obra;
- c) Desenvolvimento de políticas de gestão;
- d) Monitoramento e avaliação das operações da construção.

2.6.2 Work Structuring

Ballard (1999) e Tsao et al. (2000) desenvolveram o termo *Work Structuring* (ou Estruturação do Trabalho) para se referir ao projeto do sistema de produção no âmbito da construção civil. Esse conceito tem como finalidade a especificação da composição das atividades a qual o produto será decomposto durante sua produção – componentes, subsistemas e submontagem (BALLARD, 1999; TOMMELEIN, 2004).

O método foi proposto como uma das abordagens utilizadas em um sistema de gestão de empreendimentos, o *Lean Project Delivery System* (LPDS) (BALLARD, 2000b, 2008b; TSAO, 2005). Por esse motivo, há traços marcantes da filosofia *Lean* na sua concepção, os quais são (BALLARD, 2000a): (a) os integrantes são envolvidos no planejamento antecipadamente, por meio de equipes multifuncionais; (b) o controle do projeto realmente busca monitorar o processo, ao invés da simples detecção de erros; (d) o foco é tornar o fluxo de trabalho confiável, e não tentar otimizar a produtividade das equipes individuais; (e) o conceito de produção puxada é usado para gerenciar alguns fluxos de materiais e de informações através de redes de especialistas; (f) capacidade e estoques são usados para absorver a variabilidade; e (g) ciclos de retroalimentação são incorporados em todos os níveis, os quais são dedicados a ajustes rápidos no processo.

Dessa forma, o objetivo do *Work Structuring* é otimizar o sistema de produção, em outras palavras, aumentar sua rapidez, tornar seu fluxo contínuo e entregar valor ao cliente (BALLARD, 1999). Ademais, Ballard (1999) e Tsao et al. (2000) apontam os diversos itens que podem ser determinados pela estruturação do trabalho, sendo eles: as atividades que serão atribuídas às equipes e a sequência adotada; o modo como os lotes de trabalho serão repassados de uma frente de trabalho à outra; a maneira como as equipes executarão o trabalho - fluxo ininterrupto ou dissociado; e o local onde os *buffers*⁶ serão necessários e como eles serão dimensionados.

⁶ *Buffer* é um pacote de proteção (*safety stock*), o qual protege a construtora das possíveis mudanças abruptas na sua demanda e na situação dos fornecedores (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2008). No meio acadêmico também é utilizado para se referir a folgas - de materiais, tempo ou capacidade (BULHÕES, 2009).

2.6.3 Phase Scheduling

Além do *Work Structuring*, Ballard (2000b) desenvolveu o *Phase Scheduling* (Programação por Fases), também conhecido como *Reverse Phase Scheduling* ou *Task Planning*, o qual consiste na determinação das fases de planejamento do empreendimento no médio prazo, a partir das metas e datas marcos (*milestones*) do planejamento de longo prazo. Essa iniciativa visa elevar ao máximo a geração de valor e proporcionar um melhor entendimento e envolvimento de todos os participantes, pois está fundamentada em reuniões participativas (BALLARD, 2000b).

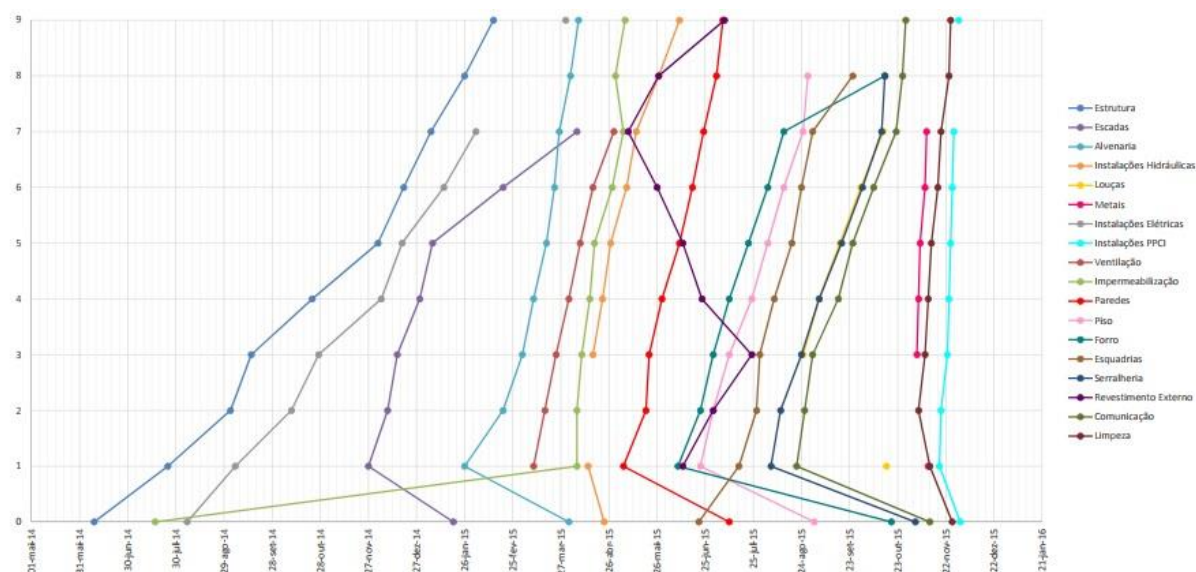
O planejamento da equipe envolve os representantes de todas as empreiteiras que possuam tarefas a serem realizadas durante a fase que está sendo planejada, visto que todos devem informar o que, como e quando será feito, para, então, ajustar o cronograma de acordo com o impacto das atividades entre si, tendo, pois, o planejamento “ideal” (BALLARD, 2000b). Dessa maneira, os participantes não só têm conhecimento das suas atividades, mas também auxiliam na compreensão do todo, definindo quais os itens necessários para a tarefa posterior e o que precisam das anteriores, isto é, os *hand offs* indispensáveis (KNAPP; CHARRON; HOWELL, 2007). Ademais, após a aceitação de todos os presentes, o cronograma e as atividades representadas têm caráter de contrato, podendo ser alterado apenas sob três condições (BALLARD, 2000b): (a) há mudanças no contrato inicial; (b) as atividades no planejamento não podem ser realizadas sem violar as regras do sistema *Last Planner*⁷; ou (c) algum membro propõe uma ideia melhor de execução e todos os demais concordam com a modificação.

2.6.4 Location-Based Scheduling (LBS)

O *Location-Based Scheduling* utiliza a metodologia das linhas de balanço (tempo x unidade de repetição - Figura 7), a qual tem como premissa o fluxo contínuo, visto que ela expõe o curso de trabalho das equipes, sendo mais fácil planejar e controlar as atividades ao longo da execução do empreendimento (KANKAUNEN; SEPPANEN, 2003; KENLEY, 2004). Além disso, essas características permitem aos gestores analisarem, de maneira sistemática, os impactos causados no sistema de produção a partir das tomadas de decisão de longo prazo (KEMMER; HEINECK, 2008).

⁷ *Last Planner* é um método baseado na produção enxuta, o qual foi oposto por Ballard (1994). Ele consiste na elaboração de planos de longo, médio e curto prazo, onde no curto prazo o enfoque está apenas nas atividades que conseguirão ser realizadas, pois, assim, a produção passa a ser contínua e não há repetição de erros.

Figura 7 - Linha de Balanço



(Fonte: elaborado pela autora)

Segundo Kankainen e Seppanen (2003), essa estratégia (LBS) proporciona diversos benefícios para construção, como, por exemplo: (a) continuidade no trabalho das equipes de produção; (b) aumento de produtividade – menor probabilidade de interferência entre as tarefas; e (c) *buffers* podem ser facilmente planejados e ponderados. Contudo, o LBS não informa como será o *layout* e a logística do canteiro (RECK, 2013), necessitando, pois, de uma análise complementar.

2.7 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA O PSP

2.7.1 Projeto e Planejamento de Sistema de Produção com o Uso da Modelagem BIM 4D

Tendo em vista que o PSP deve ser realizado anteriormente à etapa de produção e envolve diversos intervenientes, recursos e atividades, ter uma ferramenta que permita a sua visualização tridimensional e temporal é de grande valia para o planejamento da obra, seja de longo, médio, ou curto prazo (BIOTTO, 2012). Desse modo, Biotto (2012) propôs a utilização do BIM 4D como forma de amenizar a falta de visão espacial do processo de construção que as ferramentas de planejamento tradicionalmente utilizadas na construção civil possuem. Além disso, a autora também sugeriu uma abordagem diferenciada do estudo de implementação do PSP, pois acredita que a maioria das pesquisas de gestão da produção tem como enfoque atividades e processos construtivos isolados do processo, não avaliando a tomada de decisões do planejamento como um todo.

Contudo, os modelos BIM, sobretudo o BIM 4D, carecem de métodos para que os usuários, neste caso o construtor e o planejador, possam desenvolver suas atividades de maneira a atender às suas demandas de trabalho, visto que se trata de uma nova ferramenta, a qual está em processo de inserção e disseminação no mercado da construção (BIOTTO, 2012). Por conseguinte, com o intuito de melhorar o projeto e o planejamento de sistemas de produção e o planejamento e controle de obras, o trabalho de Biotto (2012) teve como enfoque a implementação de modelos BIM 4D para apoiar a tomada de decisão realizada pelos envolvidos na gestão de empreendimentos. Assim, a autora desenvolveu um método para o uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção, o qual é dividido em três fases: (a) preparação da empresa; (b) decisões preliminares e modelagem 4D; e (c) análise da visualização 4D e tomada de decisão.

Biotto (2012) salienta que ao aplicar o método desenvolvido em diversos empreendimentos com características e etapas distintas de evolução, é possível identificar as necessidades particulares de cada tipo de empreendimento (mistos, horizontais e verticais). Ademais, o uso desta ferramenta possibilita simular diferentes cenários e alternativas de planos de execução, refletindo as decisões tomadas quanto ao PSP ou ao planejamento de longo e médio prazos, auxiliando, principalmente, nos estudos do plano de ataque, da segurança, dos equipamentos de transporte, das instalações provisórias e das interferências causadas entre todos os envolvidos.

2.7.2 Integração da Simulação de Eventos Discretos e Modelagem 4D no PSP

Outra abordagem do PSP no âmbito da construção civil é a sua utilização a partir do emprego de simulações discretas como ferramentas de gestão para a análise de diferentes cenários de construção (RECK, 2013). Contudo, o seu uso é bastante restrito, dado que os tomadores de decisão têm pouco conhecimento acerca da sua utilização e o seu uso não é intuitivo (RECK, 2013). Desse modo, a necessidade de se ter instrumentos que auxiliem a visualização espacial e temporal dos resultados obtidos é iminente, sendo necessário encontrar novas abordagens que facilitem a gestão da produção, como é o caso da simulação BIM 4D. Por isso, Reck (2013) propôs um método para integrar ambas as ferramentas ao uso da elaboração do projeto do sistema de produção. Assim, o método proposto pela autora envolve três diferentes tipos de modelos: (a) conceitual – envolve a utilização de diagramas de precedência e planilha de pré-dimensionamento da capacidade dos recursos; (b) simulação de eventos discretos – apresenta planilhas eletrônicas de entrada e saída de dados e a lógica de programação do modelo; e (c)

modelo 4D – que é constituído por um modelo BIM com informações sobre as atividades, o plano de execução do empreendimento e os equipamentos temporários de construção. Portanto, essa pesquisa ajudou a contribuir para a consolidação do PSP como um processo gerencial da gestão da produção, pois ao passo que o método é utilizado em conjunto com a modelagem, é possível perceber erros e inconsistências mais rapidamente, podendo, então, definir as etapas de validação dos modelos com o sistema real (RECK, 2013).

3 MODELAGEM BIM 4D

Este capítulo dedica-se, primeiramente, à apresentação dos conceitos de modelo e modelagem. Em seguida, aborda a história e os conceitos do BIM, processo que será utilizado para a confecção da modelagem 4D, também explanada na sequência. Ao final, versar-se sobre a forma como essa modelagem vem sendo implementada na construção civil, bem como os desafios encontrados no processo.

3.1 MODELO

Modelo (*model*) é uma representação de uma pessoa ou objeto ou estrutura qualquer, geralmente em uma escala menor que a original, em outras palavras, eles podem ser físicos - os quais representam a realidade a partir da utilização das mais diversas matérias-primas – ou podem ser os chamados modelos gerenciais, os quais englobam qualquer modelo de sistemas humanos ou operacionais, independentemente do seu tipo quantitativo ou qualitativo (WILLIAMS, 2002).

Para projetos complexos, Simon (1996) afirma que não é simples compreender e entender as propriedades do todo (dado suas devidas proporções) quando se parte de um desenho 2D, visto que cada participante envolvido pode ter uma interpretação distinta, conforme pode ser verificado na Figura 8 (Collier e Fischer, 1995⁸ *apud* Biotto, 2012). Desse modo, simplificar a realidade não se torna uma desvantagem, mas, sim, uma das suas maiores vantagens, tendo em vista que se abstrai informações desnecessárias para, então, concentrar-se nos dados realmente importantes para o projeto - o que seria impossível no meio de toda a riqueza e complexidade de detalhes do mundo real (WILLIAMS, 2002). Portanto, Williams (2002, p.34) resume o substantivo “modelo” como sendo algo que

“(...) representa ou descreve percepções de um sistema real, simplificado, usando como base uma linguagem formal e teórica dos conceitos e das suas relações (que

8 COLLIER, Eric; FISCHER, Martin. **Four-Dimensional Modeling in Design and Construction**. CIFE Technical Report # 101 Salford: Salford University, 1995.

permitem a manipulação destas entidades), com o intuito de facilitar a gestão, o controle ou o entendimento deste sistema”.

Figura 8 - Interpretação de Desenhos 2D



(Fonte: adaptado de Collier e Fischer, 1995 *apud* Biotto, 2012)

No entanto, nem todos os modelos são bons modelos. Para isso, segundo Williams (2002), um bom modelo deve: (a) ser empiricamente baseado, ou seja, ser capaz de reportar a realidade a ser enfrentada; (b) ser teoricamente sólido; (c) ser coerente, isto é, não haver contradições entre elementos, para, então, formar uma base sólida de decisões lógicas e consistentes; (d) ser simplificado até certo nível, não prejudicando a proposta do modelo; (e) abordar a real complexidade do sistema; (f) adicionar valor, em outras palavras, ajudar a entender o fenômeno a ser estudado; e (g) impactar decisões.

Williams (2002) também afirma que é necessário manipular o modelo para, assim, retirar informações úteis, explorar diferentes alternativas ou, até mesmo, explicar o porquê das diferenças entre essas realidades. Isso se deve ao fato de que o modelo não define apenas partes ou elementos conceituais do todo, mas deve, sobretudo, definir as relações entre conceitos, os quais necessitam ser formais e embasados teoricamente, possuindo uma linguagem clara, consistente e o mais precisa possível (WILLIAMS, 2002).

3.2 MODELAGEM

A computação, na sua forma mais poderosa, proporciona modelos virtuais, os quais são abstrações ou uma combinação complexa da realidade, que auxiliam os usuários a explorar, a descrever, a prever e a controlar realidades virtuais; do mesmo modo que os auxilia a compreender o fenômeno representados por eles (AKIN, 2010).

Pidd (1996) aponta que os dois propósitos da modelagem são a tomada de decisão e o controle, pois os modelos são feitos para ajudar o tomador de decisão a deliberar de maneira mais assertiva e/ou a ajudar o gestor a controlar o sistema de modo mais efetivo. No entanto, para Williams (2002), deve-se acrescentar uma terceira finalidade - a compreensão -, dado que, além de proporcionar intervenções efetivas, o modelo deve ajudar na compreensão daquilo que foi elaborado e realizado, para, então, proporcionar possíveis melhorias nos projetos subsequentes e, sobretudo, no entendimento das partes, visto que em projetos complexos a compreensão do todo não acontece de forma trivial. Assim, só há razão para modelar se o modelo influenciar a tomada de decisão, seja em relação à gestão ou controle do sistema seja para melhorar o entendimento, o diálogo ou o aprendizado, porque essas decisões afetadas auxiliam na concepção do modelo e determinam como ele deverá ser modelado (WILLIAMS, 2002).

Desse modo, Schultz e Sullivan⁹ (1972 *apud* WILLIAMS, 2002) apresentam os benefícios adquiridos durante o processo de modelagem, sendo eles:

- a) **Confrontação:** não aceita que alegações vagas se perpetuem, uma vez que permite que todas as suposições levantadas durante o processo sejam testadas e validadas;
- b) **Explicação:** as premissas utilizadas ao gerar o modelo devem ser claras e explicitamente definidas;
- c) **Envolvimento:** o processo de modelagem revela as lacunas de conhecimento e motiva o modelador a tentar preencher essas falhas. Além disso, essa metodologia também auxilia na elucidação dos pontos que não haviam sido previstos e ajuda o analista a ter conhecimento sobre o eventual problema;
- d) **Diálogo:** a atividade de modelagem requer que haja constante integração e envolvimento da equipe, proporcionando um diálogo ativo entre todos os membros envolvidos.

Ademais, Williams (2002) acrescenta um quinto benefício, o aprendizado durante o processo de modelagem, visto que, por meio do contínuo processo de conceptualização, quantificação,

⁹ Schulz, R.L.; Sullivan, E. M. Developments in Simulation in Social and Administrative Science. In: **Simulation in social and administrative science: overviews and case examples** (ed. HK Guetzkow). Prentice-Hall: Englewood Cliff, NJ. 1972.

experimentação e aplicação, o modelador terá a oportunidade de aprender sobre o sistema e, assim, poderá aplicar todos os conhecimentos obtidos no sistema real.

Como melhorias provenientes da modelagem tem-se, principalmente, a possibilidade de enxergar como as informações se correlacionam e interagem entre si, tendo, pois, conhecimento do comportamento total do empreendimento. Outro ganho está na viabilidade dos cenários fictícios (“e se?”), isto é, poder testar alternativas e analisar os diferentes resultados antes mesmo da sua real aplicação (WILLIAMS, 2002). Essa benfeitoria tem a capacidade de proporcionar novas percepções acerca das particularidades do sistema modelado, permitindo, assim, um grande aprendizado acerca da interação das variáveis, principalmente ao se tratar de um modelo complexo. (FORRESTER¹⁰, 1961 *apud* RECK, 2013).

3.3 BIM

Nos últimos anos, diversas pesquisas na área da construção focaram-se em um conceito chave: organizar toda a informação da edificação em um espaço multidimensional, o qual deve conter a maioria dos dados do ciclo de vida de um empreendimento e, sobretudo, ser governado pelo compartilhamento de produtos e de processos, conforme padrões amplamente aceitos; para esse conceito deu-se o nome de BIM (*Building Information Modelling*), ou Modelagem da Informação da Construção (AKIN, 2010).

Akin (2010) ressalta que, com o surgimento do BIM, o foco está na informação da construção, a qual tem suas próprias regras, práticas, padrões e interações, transformando por completo o modo como os empreendimentos são projetados, construídos e utilizados. Como fatores que impulsionaram essa mudança, o mesmo autor aponta os três principais: (a) a necessidade de gerir uma grande quantidade de dados; (b) os benefícios que a colaboração entre tarefas proporciona (menor probabilidade de erros); e (c) a possibilidade de ter instâncias que compreendam seu escopo e a sua função, podendo transformar-se a partir da interação para com outras unidades.

Tendo sido introduzido por Eastman e Fenves, no início da década de 70, o conceito de BIM busca criar um processo que facilite a integração entre o projeto e a construção, melhorando, conseqüentemente, a qualidade dos empreendimentos e, por outro lado, diminuindo seus custos

¹⁰ Forrester, J. W. **Industrial Dynamics**. Cambridge, MA: MIT Press, 1961.

e tempo de concepção (AKIN, 2010; EASTMAN et al., 2011). Desse modo, conforme definido pela *BuildingSMART* (2017), BIM é uma representação digital das características físicas e funcionais de um empreendimento, permitindo o compartilhamento das informações acerca da instalação, formando, assim, uma base confiável para a tomada de decisões durante todo o seu ciclo de vida – desde os estudos preliminares até a demolição.

Segundo Eastman et al. (2011), as características gerais que podem melhorar ou minimizar as mudanças positivas proporcionadas por essa nova tecnologia dependem do quão bem e em que estágio do projeto a equipe passa a trabalhar em conjunto com o modelo, visto que, quanto antes a modelagem ocorrer, mais útil o modelo será. Assim, os mesmos autores classificam o BIM como sendo uma tecnologia de modelagem e um aglomerado de processos que produzem, comunicam e analisam modelos da construção, sendo caracterizados por:

- a) Utilização de objetos digitais, os quais reconhecem o seu escopo e a sua função, carregando informações gráficas, dados e regras paramétricas;
- b) Componentes com dados que descrevem seu comportamento, melhor dizendo, que informam as suas características como custo, eficiência energética, entre outros;
- c) Dados consistentes e não redundantes, tendo em vista que as alterações realizadas são expostas em todas as vistas do componente (cortes, elevações, plantas baixas);
- d) Informação coordenada, isto é, todas as vistas do modelo são apresentadas de maneira coordenada.

Entretanto, como o significado de BIM não é amplamente conhecido, há modelos que não têm essa tecnologia como base, sendo eles (EASTMAN, 2011):

- a) Modelos que não contêm atributos de objeto e, sim, apenas dados em 3D – estes modelos servem apenas para visualização, pois não dão suporte para a integração das informações e nem para a análise de projeto;
- b) Modelos sem suporte de comportamento – estes modelos definem os objetos, porém não utilizam regras paramétricas na sua concepção, não conseguindo, pois, ajustar suas proporções e posicionamento de maneira automática;

- c) Modelos que são compostos por múltiplos projetos CAD 2D e que necessitam estar em conjunto para representar o empreendimento – assim é impossível garantir que o modelo 3D resultante será executável, consistente e mensurável; e
- d) Modelos que permitem alterações em um dado desenho do projeto, contudo não modifica automaticamente os demais – esta prática permite erros no modelo que são bem difíceis de serem detectados.

Dessa maneira, a tecnologia BIM pode dar suporte e melhorar muitas rotinas de gestão da construção civil, além de proporcionar muitas vantagens à prática usual da coordenação de projetos. De acordo com Leinonen et al. (2003), os modelos gerados pelo BIM podem ser utilizados para criar, editar, armazenar, restaurar e validar dados sobre o empreendimento, sendo possível utilizá-los a partir de diversos sistemas computacionais. Logo, o objeto modelado estará disponível para toda a equipe ao longo de todo o seu ciclo de vida, melhorando, portanto, a comunicação entre os envolvidos e, conseqüentemente, o processo de construção como um todo (LEINONEN et al., 2003). No entanto, a indústria da construção ainda está nos princípios da utilização do BIM, ou seja, mesmo que já tenham ocorrido avanços significativos quando comparado ao tradicional CAD 2D, ou às práticas baseadas em papéis, é muito improvável que todas as benesses proporcionadas por essa nova tecnologia já tenham sido presenciadas na prática (EASTMAN et al., 2011). Assim, Eastman et al. (2011) dividem os benefícios deste processo em quatro partes: (a) pré-construção (visão do dono); (b) os de projeto; (c) os da construção e da fabricação; e (d) os da pós-construção. O primeiro é no âmbito da concepção, viabilidade e projeto, pois torna-se muito mais fácil visualizar o que está sendo desenvolvido; o segundo trata-se, principalmente, da colaboração entre diversas disciplinas e, conseqüentemente, da extração de documentos mais acurados e consistentes independentemente da fase em que o projeto se encontra; já o terceiro está intimamente ligado à possível sincronização do projeto ao cronograma de execução da obra (4D – objeto de estudo deste trabalho), além da utilização do *clash detection* (verificação de incompatibilidades) e de uma melhor implementação dos conceitos de *Lean Construction* (abordados no capítulo 2 deste estudo); por fim, o quarto diz respeito à uma melhor gestão e operação das edificações em uso, as quais podem ser integradas à sistemas de controle de manutenção.

Contudo, para que essa troca de informação ao longo de todo o ciclo da edificação seja efetiva, é necessário considerar a interoperabilidade entre os diversos *software* utilizados, ou seja, a

capacidade de se trocar dados com diferentes extensões sem que ocorra prejuízo à informação. Com esse intuito, em 1996 foi criado, pela *International Alliance for Interoperability*¹¹ (IAI), o *Industry Foundation Classes* (IFC), um modelo de dados de especificação que tem como intuito padronizar as informações do modelo BIM e, assim, permitir o compartilhamento e a troca destes elementos entre diferentes *software* (BUILDINGSMART, 2017). Como premissas, a *BuildingSMART* (2017) tem o custo zero, a acessibilidade e a livre utilização da informação para todo e qualquer *software* computacional, pois, desse modo, ela permite que ocorra a interoperabilidade entre os diferentes sistemas e disciplinas envolvidos no projeto.

3.4 MODELAGEM 4D

Com o avanço tecnológico da computação gráfica, os adventos da visualização estão sendo cada vez mais utilizados, independentemente do setor a ser analisado (KUNZ; FISCHER, 2011). Logo, na construção civil não seria diferente, tendo em vista que esta prática proporciona uma melhor compreensão do que está sendo desenvolvido, e, assim, melhora a comunicação entre todos os envolvidos (EASTMAN et al., 2011). De acordo com o Dicionário Aurélio (2017), o ato ou efeito de visualizar é a representação em uma tela, sob forma gráfica ou alfanumérica dos resultados de um tratamento de informações. Ademais, Kunz e Fischer (2011) defendem que a visualização é, de longe, a melhor maneira para descrever, explicar e analisar um produto, pois todos os dados a serem apresentados são facilmente identificáveis no modelo e podem ser naturalmente compreendidos pelos participantes.

O planejamento da construção envolve sequências de atividades no tempo e no espaço, como, por exemplo, aquisições, recursos, restrições espaciais, entre outros (EASTMAN et al., 2011). Os métodos tradicionais de planejamento, no entanto, não conseguem nem capturar adequadamente os componentes espaciais relacionados às atividades a serem executadas nem se vincular automaticamente ao modelo. Por conseguinte, essa dificuldade acarreta em uma tarefa manualmente intensiva e dessincronizada com o projeto, impedindo a clara compreensão do cronograma e do seu impacto na logística do canteiro (EASTMAN et al., 2011). Dessa maneira, conforme apontado por Eastman et al. (2011), três tipos de tecnologia evoluíram para abordar essas falhas, são elas: (a) o modelo CAD 4D, o qual contém modelos 3D associados ao

¹¹ Hoje conhecida como *BuildingSMART*, em 2008 a IAI trocou de nome para melhor representar os interesses e os objetivos da organização. (Fonte: buildingsmart.org)

tempo, isto é, permite a visualização da sequência de construção da edificação na forma de simulações virtuais; (b) a utilização de ferramentas de análise que incorporam componentes BIM e informações acerca dos métodos de construção, com o intuito de otimizar a sequência de atividades; e (c) o “*pull driven*” *scheduling*, o qual tem suas bases no sistema *Last Planner*, pois considera o “último tempo de resposta” para a realização da atividade, ou seja, aguarda até que todas as tarefas antecessoras à mesma estejam completas para, então, executá-la (BALLARD, 2000)).

Assim, modelos e ferramentas 4D foram inicialmente desenvolvidos, no fim dos anos 80, por grandes organizações, as quais estavam envolvidas com a construção de sistemas complexos de infraestrutura, na qual atrasos e erros de cronograma impactavam consideravelmente os custos (EASTMAN et al., 2011). Como o BIM, a partir de um modelo 3D apropriado, permite criar, revisar e editar os modelos 4D mais frequentemente, a implementação de cronogramas mais confiáveis é inerente; além dos diversos outros benefícios apontados por Eastman et al. (2011), sendo que os principais se encontram listados a seguir.

- a) **Comunicação:** planejadores podem comunicar visualmente a estrutura do planejamento para todas as partes envolvidas no projeto, pois o modelo 4D captura tanto os aspectos espaciais quanto os temporais do modelo, comunicando, assim, o cronograma de maneira mais assertiva;
- b) **Logística de canteiro:** planejadores podem gerir as áreas de depósito, bem como as rotas de acesso do canteiro e a localização das instalações e dos materiais, por exemplo;
- c) **Comparar cronogramas e acompanhar o progresso da construção:** coordenadores de projetos podem comparar diferentes cronogramas mais facilmente, além de conseguir visualizar quais as atividades estão no prazo ou atrasadas.

3.4.1 Processos de Modelagem 4D

À medida que a indústria da construção migrou para a utilização de ferramentas 3D, empresas passaram a desenvolver manualmente os modelos 4D e a vincular fotos virtuais às respectivas fases ou períodos de tempo do projeto (EASTMAN et al., 2011). Contudo, segundo Fukai (2003), para um objeto estar em quatro dimensões, ele deve, obrigatoriamente, existir em três e ser simulado na quarta de maneira contínua. Portanto, no meio dos anos 90, ferramentas 4D foram desenvolvidas, facilitando, assim, a criação de modelos de suporte para o planejamento

da construção, tendo em vista que as geometrias e as entidades do modelo 3D eram automaticamente correlacionadas às atividades e às suas características temporais (EASTMAN et al., 2011).

Atualmente, há diversos *software* no mercado que se utilizam dessa ferramenta, nas suas mais variadas abordagens, para gerar os modelos BIM 4D. Assim, o método BIM 4D pode ser utilizado de duas formas diferentes, isto é, com a concepção do modelo 4D dentro do próprio software de modelagem 3D (ainda não há programas com suporte para atributos de data ou tempo, o que inviabiliza essa prática) ou com a exportação do modelo 3D para um *software* 4D, juntamente com a importação do cronograma de execução, os quais são correlacionados e associados à tipos e a características visuais. Na Figura 9, a seguir, Eastman et al. (2011) apontam como o processo BIM 4D pode ser realizado

Figura 9 - Processo de Modelagem 4D



(Fonte: adaptado de Eastman, 2011)

3.4.2 Parâmetros de Modelagem 4D

Primeiramente, é necessário **definir o usuário**, ou seja, quem irá usufruir diretamente do modelo 4D. Para isso, é necessário que todos os envolvidos compreendam os potenciais benefícios dessa aplicação, visto que todos irão se beneficiar dos advenços da visualização (BIOTTO et al., 2015). Segundo Biotto et al. (2015), o usuário do modelo pode ser qualquer parte envolvida no processo, desde o setor de planejamento, até os encarregados da obra.

Outro passo importante é a **definição do layout do canteiro**, em outras palavras, como e onde os equipamentos, materiais, força de trabalho serão alocados durante a realização da obra. A modelagem 4D providencia uma ferramenta que permite visualizar o espaço disponível durante

o andamento da construção e, por isso, Riley¹² (1994 *apud* RILEY, 2003) recomenda cinco maneiras de vincular a o planejamento da produção à modelagem 4D, sendo elas:

- a) Providenciar informações espaciais: um bom modelo 4D deve ser capaz de responder questionamentos acerca do sequenciamento de uma atividade sem a interferência nas demais, da alocação de materiais e equipamentos, e da compra/transferência de matérias para o canteiro;
- b) Equilibrar as necessidades do projeto: o modelo 4D deve sempre considerar três fatores independentes – produtividade, qualidade e segurança -, assim, seu principal objetivo será coordenar todas as atividades de um modo produtivo e dentro desses princípios;
- c) Aumentar o nível de detalhe sempre que necessário: o planejamento precisa evoluir, assim como o projeto como um todo. Desse modo, o modelo 4D deve identificar as áreas que necessitam maiores detalhes;
- d) Comunicar o planejamento: para o planejamento ser utilizado e seguido, ele deve ser comunicado para todos os participantes do projeto;
- e) Envolver os participantes do projeto no planejamento: sempre há pessoas que possuem um maior conhecimento sobre determinadas atividades. Assim sendo, pode-se utilizar dessas novas ideias para resolver problemas de espaço, por exemplo.

Ademais, para Riley (2003), o principal produto da modelagem 4D é a elaboração de um plano livre de conflitos espaciais. Assim, a detecção automática dos conflitos em potencial entre as áreas de trabalho, os depósitos de materiais e acessibilidade do canteiro representa o principal objetivo desta ferramenta, pois ela permite que sequências de trabalho longas e complexas sejam analisadas, reformuladas e ajustadas (RILEY, 2003).

Outro fator importante a ser definido é o **nível de detalhe necessário** a ser desenvolvido na elaboração de um planejamento realístico (BATAGLIN, 2017). Para que não haja atividades ignoradas e nem uma quantidade de tarefas fora da capacidade de serem geridas, Riley (2003)

¹² Riley, D. R. **Modeling the Space Behavior of Construction Activities**. PhD Tesis – Penn State University, PA. 1994.

apresenta quatro aspectos da modelagem 4D que oferecem a oportunidade de ajustar o nível de especificação, sendo eles:

- a) Intervalos de Planejamento: o prazo estimado para planejar e avaliar as atividades (horas, dias, semanas, etc.);
- b) Utilização dos Espaços: espaços que devem ser modelados – geralmente os de maior significância para o projeto/canteiro;
- c) Tipo de Atividade: número de equipes que garantam o andamento do planejamento, isto é, tendo em vista que as tarefas variam de acordo com a fase de construção, elas podem ser modeladas apenas quando houver real necessidade;
- d) Zonas de Trabalho: principalmente aquelas que tem tendência a gerar conflitos e congestionamentos (também conhecidas como gargalos).

Por fim, deve-se, também, **definir a organização responsável por gerar o modelo 4D**, a qual, de acordo com Biotto et al., (2015), deve ser a empresa construtora do empreendimento, visto que os projetistas e os modeladores não detêm toda a informação necessária para elaborar um modelo 4D completo, viável e eficaz.

3.5 IMPLANTAÇÃO DA MODELAGEM 4D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Ao longo dos anos, diversas pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de avaliar a implementação da modelagem 4D na indústria da construção. Muitas delas estudaram desde a abordagem das dificuldades de implementação dos modelos 4D nas organizações devido ao alto investimento, à necessidade de infraestrutura específica, ao treinamento de equipes, entre outras, até a forma como o modelo deve ser idealizado - quem é o responsável, qual o melhor escopo e nível de detalhe a ser modelado, e qual o *software* que melhor se enquadra nas necessidades da aplicação (FISCHER; HAYMAKER; LISTON, 2003; RILEY, 2003; COBLE; BLATTER; AGAJ, 2003; WEBB; HAUPT, 2003; ISSA; FLOOD; O'BRIEN, 2003; GRIFFIS; STURTS, 2003; BIOTTO, 2012; RECK, 2013; SCHRAMM et al., 2015; BIOTTO et al., 2015; BATAGLIN, 2017). Esse tipo de abordagem focada na técnica de conceptualização desenvolveu aplicações sofisticadas desta tecnologia, porém deixou lacunas sobre a utilização simples e viável da modelagem 4D (HARTMANN et al., 2008). Hartmann et al. (2008)

apontam que, mesmo com limitações - estudos mostram somente pequenos aspectos sobre a utilização do modelo 4D -, durante muitos anos foram poucas as pesquisas que mostraram a implementação simples e prática dos modelos 4D no meio da construção civil (COLLIER; FISCHER, 1995 *apud* BIOTTO, 2012; HARTMANN; FISCHER, 2007; HAYMAKER; FISCHER, 2001).

Desse modo, esses mesmos autores identificaram os principais benefícios e as dificuldades encontradas quando implementada a modelagem 3D/4D nas organizações. No que diz respeito à modelagem 4D, os principais desafios foram (HARTMANN *et al.*, 2008): (a) a antecipação das atividades do projeto (*fast tracking*); (b) o planejamento da pré-fabricação e da montagem de elementos fora do canteiro, integrando-os com as demais atividades em andamento; (c) a coordenação entre as diversas empreiteiras; (d) a gestão das restrições do cronograma; (e) o planejamento da logística dos diversos métodos de construção; e (f) a minimização dos impactos causados às operações das instalações, quando relacionado com reformas e adequações de projetos. Como resultado, teve-se a utilização satisfatória do modelo 4D para avaliar desde a acurácia e a integridade do planejamento, até o escopo de trabalho das contratadas, passando pela verificação dos conflitos de espaço-tempo, da logística do canteiro, da coordenação das atividades, da integração entre diferentes técnicas construtivas e da melhoria da comunicação entre as partes interessadas (HARTMANN *et al.*, 2008). Contudo, mesmo que os resultados tenham sido positivos, a análise desses casos mostrou que, infelizmente, os modelos 4D foram implantados em apenas uma determinada área e fase de projeto, não havendo, pois, um uso mais completo e abrangente desta tecnologia (HARTMANN *et al.*, 2008).

Assim, com o desenvolvimento da indústria da construção e a necessidade de trabalhar as dificuldades do setor de maneira mais efetiva, novos estudos acerca da gestão da produção com o uso da modelagem BIM 4D foram realizados. Zhang e Li (2010) propuseram medidas de melhorias ao planejamento e ao *layout* do canteiro a partir da utilização da visão espacial e temporal (BIM 4D). Li, Stephens e Ryba (2014) analisaram os fluxos de trabalho, juntamente com o planejamento e controle da produção e do canteiro, por meio da utilização do advento da modelagem 4D: a visualização. No Brasil, Reck (2013) elaborou um método de simulação computacional a partir do estudo de 4 construções, as quais também estavam em diferentes estágios e também possuíam diferentes áreas de abrangência, com o intuito de emular o comportamento do sistema de produção e, assim, visualizar a construção dos elementos e os

resultados da simulação por meio de modelos 4D. Ademais, Biotto, Formoso e Isatto (2015) desenvolveram um método de apoio à tomada de decisão do sistema de produção com o uso da modelagem BIM 4D a partir do estudo de 4 empreendimentos residenciais, os quais encontravam-se em fases distintas, sendo possível verificar os benefícios desta abordagem de acordo com o estágio e características de cada sistema. Outro estudo muito válido para a análise implementação da modelagem 4D no país foi o proposto por Bataglin (2017), a aplicação do BIM à logística do método *Engineer-to-Order* (ETO), o qual baseou-se na análise de um único empreendimento com diferentes estágios de construção, podendo ser verificada a logística do canteiro, bem como o método de montagem do sistema pré-fabricado.

Contudo, ainda há dificuldades para abordar a implementação do processo BIM de maneira satisfatória. Isso deve-se ao fato de que, até o momento, a indústria da construção civil não conseguiu criar artifícios que permitissem a utilização desta tecnologia em larga escala, além de haver muitas dificuldades quanto à troca de dados entre sistemas, pois, mesmo que seja possível trocar informações entre disciplinas do projeto, não é possível importar o próprio modelo para os principais programas de análise de operação e de desempenho (HARTMANN et al., 2008). Por isso, na maioria destas pesquisas, a modelagem 4D aconteceu de maneira isolada - quando analisado todo o ciclo de vida do empreendimento -, quer dizer, nenhuma das organizações estudadas utilizavam o sistema BIM, ou até mesmo a modelagem 3D apenas, como metodologia de concepção dos seus projetos, dificultando, assim, a análise global da implementação deste novo sistema (BIOTTO, 2012; RECK, 2013; BIOTTO et al., 2015; BATAGLIN, 2017). Muitos são os motivos por tal resistência ao novo, porém, pode-se listar alguns que se fizeram presentes na maioria dos casos estudados:

- a) **Barreiras Econômicas e Organizacionais:** o alto impacto econômico, a falta de mão de obra treinada, alto dispêndio de tempo e a alteração do *status quo* das empresas (é necessário alterar o modo de trabalho, pois essa tecnologia exige uma abordagem mais colaborativa) (GRIFFIS; STURTS, 2003; WEBB; HAUPT, 2003; ISSA; FLOOD; O'BRIEN, 2003);
- b) **Definição do Escopo:** geralmente o modelo 3D/4D criado para uma determinada atividade não é facilmente ajustado para outra fase da mesma edificação, pois não foi concebido projetando o futuro. Por isso, é necessário que toda a concepção de modelo

considere o seu uso durante todo o ciclo de vida do empreendimento (HARTMANN et al., 2008);

- c) **Definição do Nível de Desenvolvimento (LoD):** segundo Leite et al. (2011), o LoD deve ser escolhido de acordo com a tarefa a ser modelada, isto é, a partir da sua proposta de uso. Todavia, um dos maiores problemas ainda não solucionados é que o modelo da edificação, utilizado por diversas contratadas, requer diferentes níveis de detalhamento dependendo da disciplina a ser modelada, tornando-se um grande impasse na utilização desta tecnologia (HARTMANN et al., 2008);
- d) **Definição do Software:** a interoperabilidade é essencial para essa nova tecnologia, assim, é preciso que haja uma constante evolução no modo como a troca de informações entre programas é realizada (HARTMANN et al., 2008). Além disso, a interface visual deve ser característica de cada área de aplicação, pois, conforme mencionado no item c), há necessidades e preferências de visualização distintas entre os componentes do projeto (ISSA; FLOOD; O'BRIEN, 2003).

4 MÉTODO DE ESTUDO

Neste capítulo é apresentado o método de estudo no qual este trabalho foi baseado. Assim, em um primeiro momento é descrita a estratégia e o delineamento do estudo, e, a seguir, são elencadas as etapas de elaboração do PSP e é feita a descrição das atividades que foram realizadas.

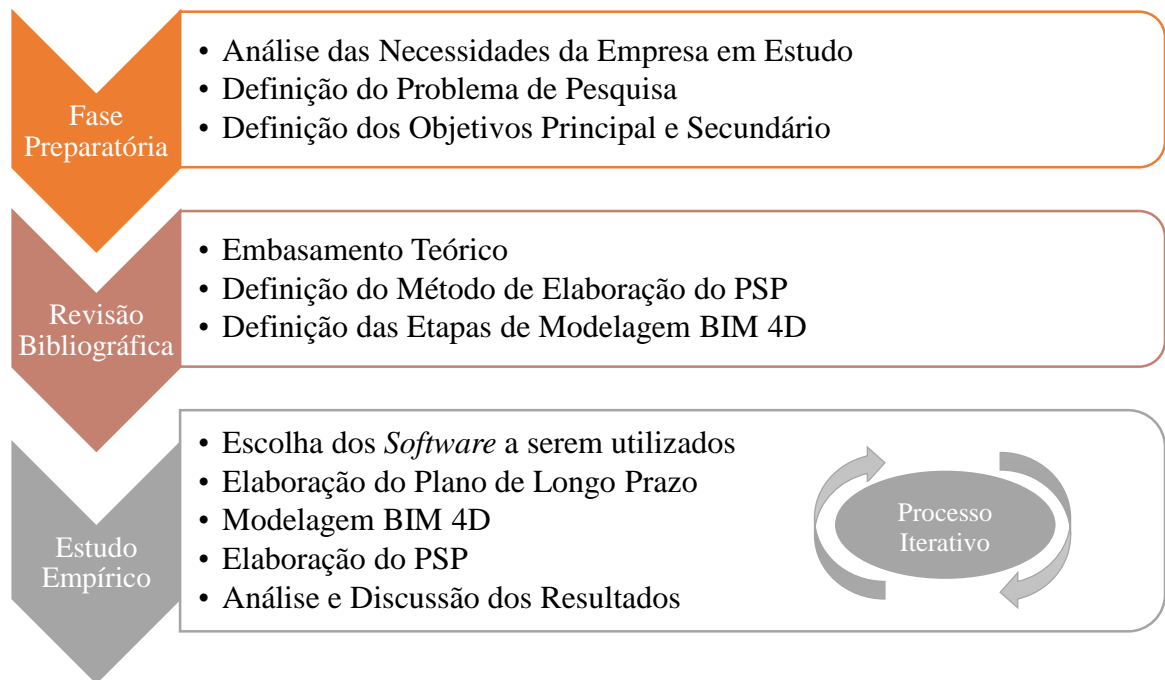
4.1 ESTRATÉGIA E DELINEAMENTO DO ESTUDO

Este trabalho envolve a realização de um estudo acerca da gestão de produção de um empreendimento, utilizando o BIM 4D para elaborar o seu projeto do sistema de produção. O mesmo é um residencial de alto padrão, com algumas atividades industrializadas como, por exemplo, o pré-moldado dos subsolos 1 e 2 e térreo (base), a estrutura de concreto moldada *in loco* com o uso de mesas voadoras na torre, a alvenaria com blocos assentados com cola polimérica, o revestimento de placa de gesso colada e os painéis pré-moldados de concreto arquitetônico (PPCA) na fachada. Tendo em vista que essa pesquisa não está dentro do escopo das ciências naturais, isto é, não se preocupa em explicar como as coisas são e nem a razão por elas serem como são (SIMON, 1996), ela se caracteriza como um estudo empírico, pois busca desenvolver conhecimentos voltados para a solução de um problema específico (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Desse modo, esse presente estudo apresentou três fases distintas na concepção da sua metodologia. A primeira consistiu em uma fase preparatória, a qual teve como objetivo definir o problema de pesquisa, assim como as questões a serem abordadas e respondidas ao longo do seu desenvolvimento. A segunda etapa baseou-se na pesquisa bibliográfica, a qual serviu como embasamento teórico para esse estudo, sendo possível identificar os benefícios e algumas das dificuldades encontradas, tanto na área de gestão de projetos quanto na de modelagem BIM 4D, e que poderiam ser verificadas ao longo da execução das atividades. Por fim, a terceira fase consistiu na realização de um estudo aplicado em uma incorporadora do ramo da construção civil, o qual abrangeu desde a escolha dos *software* a serem utilizados até à elaboração do plano de ataque, do planejamento de longo prazo e da modelagem BIM 4D do objeto em estudo. A

Figura 10 apresenta de maneira esquemática o delineamento do estudo proposto para este trabalho e encontra-se a seguir.

Figura 10 - Delineamento do Estudo



(Fonte: elaborado pela autora)

4.2 FONTES DE EVIDÊNCIAS

A seguir são apresentadas e descritas as fontes de evidências que foram empregadas nesse trabalho.

4.2.1 Observação Participante

Como a aluna trabalha como coordenadora de projetos na empresa em estudo, a observação participante foi sua principal fonte de evidência, a qual é diferenciada. Neste caso, o pesquisador deixa de ser um observador passivo e passar a ter um papel dentro da pesquisa, fazendo parte dos eventos estudados (YIN, 2003).

Conforme a rotina de trabalho, o setor de planejamento e o de coordenação de projetos, dos quais ela faz parte, têm reuniões semanais com o diretor e o engenheiro da empresa, facilitando, assim, a obtenção de informações e proporcionando participação efetiva nas tomadas de

decisões. Nessas reuniões, o modelo BIM 4D, as linhas de balanço e os layouts de canteiro foram apresentados, analisados, testados e ajustados.

4.2.2 Entrevistas

Neste trabalho se utilizou das entrevistas abertas com os futuros subempreiteiros para a aquisição de informações acerca da disponibilidade e produtividade da mão de obra, isto é, a entrevistadora tinha ampla liberdade para realizar suas perguntas e intervenções, assim como o entrevistado poderia conduzir a conversa de acordo com a sua necessidade (YIN, 2003) Além disso, elas também proporcionaram discussões bastante produtivas com os potenciais fornecedores sobre as características peculiares de cada sistema construtivo, como, por exemplo, existência de estoques, localização da grua, sequência de execução, entre outras. Por conseguinte, as ferramentas desenvolvidas ao longo deste trabalho foram essenciais para que todos os envolvidos conseguissem ver claramente o impacto de cada deliberação no conjunto da obra.

4.2.3 Análise de Documentos

Outra fonte de evidência essencial para este estudo foi a análise documentos, visto que auxiliou na realização de todas as etapas previstas. Além dos projetos em 3D e 2D do empreendimento que foram utilizados na modelagem 4D, a autora tinha acesso aos documentos das obras já realizadas pela empresa (como projetos, *layout*, cronograma, orçamento, fotos, entre outros), sendo de grande valia para a caracterização e compreensão da sistemática de trabalho da incorporadora. Esse processo auxiliou na realização do PSP do empreendimento IPE, pois como não havia um planejamento prévio, a autora pode revisar os planos de longo prazo dos empreendimentos antigos e adaptá-los para as necessidades do objeto de estudo, agilizando, pois, a fase inicial de concepção do plano de ataque.

4.3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

Conforme citado anteriormente, a principal atividade deste trabalho foi a elaboração do PSP de um empreendimento. Para isso, diversas ferramentas foram utilizadas e reuniões semanais com o diretor e o engenheiro da empresa foram realizadas com o intuito de definir as melhores estratégias de ataque, o tamanho dos lotes de produção e das equipes, os fluxos de trabalho e a

disposição do layout do canteiro. O resumo das atividades realizadas se encontra na Tabela 1 a seguir.

4.3.1 Elaboração do PSP e da Modelagem 4D

De princípio, foi realizada a análise da EAP do empreendimento para, então, montar a rede de precedência da unidade base, a qual foi definida pela autora e pelo engenheiro da empresa como sendo o pavimento tipo. A partir disso, a autora elaborou uma linha de balanço para analisar os seus fluxos de trabalho, tamanho de lote e ritmo de produção, definindo, assim, o pré-dimensionamento da capacidade de recursos, em conjunto com a direção e a engenharia da empresa. Após, a autora realizou a linha de balanço do empreendimento, determinando, também, seu lote e ritmo de produção, os quais foram sincronizados com o fluxo de trabalho da unidade base. Sendo assim, a estratégia de ataque do empreendimento e o seu plano de longo prazo foram definidos.

Com o intuito de auxiliar na elaboração do PSP e do planejamento de longo prazo, a autora modelou em 4D as principais atividades do empreendimento, as quais contemplaram a infraestrutura, a estrutura e a fachada, dado que todas são consideradas itens A na curva ABC do orçamento da obra e, sobretudo, são fortemente dependentes da logística do canteiro, precisando de uma análise mais detalhada dos processos que as envolvem. Em vista disso, na simulação do plano de ataque também se alocou os principais equipamentos de transporte vertical e o fluxo do transporte horizontal, assim como os estoques referentes aos processos críticos e os dois principais layouts do canteiro.

Nas reuniões semanais realizadas com o diretor e o engenheiro da empresa, a simulação 4D serviu como base para as tomadas de decisões, em conjunto com a linha de balanço e com as informações de custo, disponibilidade e produtividade dos recursos provenientes do setor de orçamento da empresa e dos potenciais fornecedores. Assim, foi possível verificar incompatibilidades e simular os diferentes ritmos das atividades, além de analisar diversas opções de alocação das instalações provisórias e o impacto que a entrada e a saída de caminhões têm na logística do canteiro como um todo.

Por fim, disponibilizou-se para a empresa o plano de longo prazo para três diferentes cenários de viabilidade de recurso financeiro (recurso próprio, financiamento e venda de unidades), o plano de ataque e a simulação 4D das principais atividades do empreendimento sob a

perspectiva de financiamento, conforme solicitado pelo diretor da empresa. Outros documentos entregues, os quais também são provenientes deste trabalho, foi o projeto do processo crítico da fachada de PPCA e a configuração do *layout* inicial da obra e o intermediário, após a edificação dos subsolos.

Tabela 1 - Resumo das Atividades Realizadas

ATIVIDADE	Reunião 1	Reunião 2	Reunião 3	Reunião 4	Reunião 5	Reunião 6	Reunião 7	Reunião 8	Reunião 9	Reunião 10	Reunião 11	Reunião 12	Reunião 13	Reunião 14
Definição EAP - MACRO														
Definição UB														
Definição do tamanho do lote de produção														
Definição Integração Vertical														
Rede de Precedência - UB														
Pré-dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção														
Análise LOB - UB														
Análise das Frentes de Trabalho														
Sincronização dos Fluxos de Trabalho														
Análise LOB - Empreendimento														
Análise das Frentes de Trabalho														
Sincronização dos Fluxos de Trabalho														
Definição Parâmetros de Modelagem														
Modelagem e Teste das Alternativas do Plano de Ataque														
Estudo dos Fluxos de Trabalho														
Análise Logística e Determinação do <i>Lapour</i> do Canteiro														
Refinamento dos Dados das Etapas 1 e 5														
Definição do Volume de Recursos Necessários														
Atualização e Definição do Modelo do Plano de Ataque														
Identificação e Análise do Processo Crítico - Fachada PPCA														
Projeto do Processo Crítico - Fachada														
Análise e Discussão dos Resultados														
Necessidade de Atualização do Plano de Ataque do PSP e do Projeto de Processo Crítico														

(Fonte: elaborado pela autora)

5 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Neste capítulo são descritos os resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho, bem como as adversidades encontradas e os benefícios alcançados a partir da implementação do Projeto do Sistema de Produção. Inicialmente, é apresentada a empresa e o empreendimento no qual o estudo foi realizado. Em seguida, é exposto o processo de elaboração do PSP como um todo, o procedimento de modelagem da simulação BIM 4D e, por fim, é feita a análise e discussão dos resultados encontrados.

5.1 ESTUDO EMPÍRICO

O empreendimento em estudo estava em fase de avaliação de viabilidade econômico-financeira e tinha seu lançamento previsto para agosto de 2018, sendo seu início de execução previsto para os meses de setembro ou outubro do mesmo ano. Logo, este estudo foi realizado ainda na fase de projeto, entre os meses de março e maio do mesmo ano. Deste modo, o foco deste trabalho foi a elaboração do plano de ataque e do plano de longo prazo do empreendimento, sendo que foi considerado neste último diferentes previsões de entrada de receitas.

5.1.1 Descrição da Empresa D

A empresa D é uma empresa construtora e incorporadora de médio porte¹³, que está localizada na cidade de Porto Alegre – RS. Foi fundada em 1993 e atua, principalmente, no setor imobiliário de alto padrão da capital. Tendo em vista que as necessidades da população mudam ao longo do tempo, a empresa D está sempre em busca de satisfazer seus clientes com empreendimentos inovadores e de altíssima qualidade. Sendo assim, trabalha tanto com empreendimentos comerciais como residenciais, tendo, atualmente, seu foco no segmento de edificações residenciais de alto luxo, na qual o empreendimento IPE, objeto de estudo deste trabalho, está enquadrado.

¹³ Segundo classificação do BNDES, empresa de médio porte é aquela que tem receita operacional bruta anual maior que R\$ 4,8 milhões e menor ou igual a R\$ 300 milhões.

5.1.2 Descrição do Empreendimento IPE

O empreendimento IPE (Figura 11) corresponde a uma nova linha de produto da empresa, a qual está voltada para o público de alto poder aquisitivo (Classe AA): com unidades que variam de R\$ 3.800.000,00 a 5.200.000,00 conforme o andar no qual se encontram. Esta edificação está localizada no bairro Auxiliadora da cidade de Porto Alegre – RS, em um terreno de, aproximadamente, 1.452 m², sendo composta por uma torre de apartamentos com 2 subsolos de estacionamento (62 vagas, depósitos e bicicletários privativos) e uma infraestrutura de lazer que inclui quadra poliesportiva, *playground*, piscina adulto e infantil, deck molhado, *solarium*, sauna seca e úmida, sala *fitness*, sala de jogos, brinquedoteca, salão de festas e salão *gourmet*. Além disso, está previsto um sistema de segurança com monitoramento 24h por câmeras, acesso por biometria e guarita com vidros à prova de balas.

Figura 11 – Fachada do Empreendimento IPE



(Fonte: Empresa D)

A torre será composta por 15 pavimentos, sendo 1 apartamento por andar, totalizando 14 unidades habitacionais (2º ao 15º pavimento). Todos os apartamentos possuem a mesma planta (Figura 12) com 4 suítes, sendo a suíte *master* com 36,20 m², gabinete, cozinha, espaço *gourmet* com churrasqueira, *living* social com lareira, área de serviço com dormitório e banheiro, e área

técnica para alocação de equipamentos de maneira individualizada, totalizando 262m² de área privativa.

Figura 12 - Planta Baixa do Apartamento do Empreendimento IPE



(Fonte: Empresa D)

Além dessas características, está previsto gerador de energia condominial, sistema de vedação *fire stop* (para evitar propagação do fogo entre andares em caso de incêndio), tubulação hidrossanitária com isolamento acústico, lajes com manta acústica, portas de acesso das habitações (social e serviço) blindadas (classe III), espera para sistema centralizado de aspiração de pó ou de água, piso aquecido nas suítes e esquadrias de PVC que garantem o isolamento térmico e acústico do ambiente. Como diferencial em relação a outros empreendimentos, foram, também, empregadas algumas tecnologias construtivas industrializadas, as quais estão brevemente apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Quadro Resumo dos Materiais e das Técnicas Construtivas do Empreendimento IPE

Elemento Construtivo	Material / Técnica Construtiva
Fundações	Estacas escavadas e raiz e paredes diafragma.
Estrutura: Subsolo ao Térreo	Concreto pré-moldado.
Estrutura: 2º ao 14º Pavto	Concreto moldada in-loco com o uso de mesas voadoras e protensão das lajes lisas.
Fachada	Dividida em: - Granito nobre e pastilhas esmaltadas estruturados em painéis de concreto arquitetônico (PPCA - Painei Pré-moldado de Concreto Arquitetônico), também conhecido como Building Shell; - Pele de vidro; - Brise Metálico.
Paredes	Alvenaria de blocos cerâmicos, assentados com massa DunDun ¹⁴ e revestidos com placas de gesso coladas ¹⁵ .
Teto	Forro de gesso acartonado com acabamento de cantoneira metálica.
Esquadrias	Portas de madeira com isolamento acústico e Janelas de PVC com vidro duplo.

(Fonte: elaborado pela autora)

5.1.3 Seleção dos *Software*

Os *software* utilizados foram definidos junto do início deste estudo empírico, isto é, entre os meses de março e abril de 2018. A seguir, são apresentadas as alternativas, bem como as áreas nas quais suas aplicações se encaixam e o motivo pelo qual foram escolhidas.

5.1.3.1 Planejamento da Construção

As opções para esta fase eram os *software MS Project* e PrimaveraTM, tendo em vista que ambos possuem uma boa interoperabilidade com os demais programas empregados. No entanto, o *MS Project* foi o escolhido, pois, além de ter uma interface bastante amigável e de ser de fácil manuseio, a aluna já havia trabalhado com o mesmo durante a disciplina de Edificações III do curso de Engenharia Civil, facilitando, assim, o treinamento.

¹⁴ Composto polimérico utilizado para o assentamento de blocos em alvenaria de vedação, substituindo a argamassa de assentamento (Fonte: massadundun.com.br).

¹⁵ Revestimento constituído pela colagem direta das chapas para *drywall* sobre paredes de alvenaria ou elementos de concreto armado, sendo indicado para acabamento e nivelamento superficial (Fonte: knauf.com.br).

5.1.3.2 Modelagem BIM 4D

A três opções de *software* para modelagem 4D eram o *Navisworks Manage* (versão estudantil 2017), o *Synchro PROTM* (versão estudantil 2016) e o *5D Presenter* (Vico Software). Foi realizada uma comparação entre as mesmas em relação à interface, a interoperabilidade com o MS Project, a facilidade de inserção de arquivos 3D, a conexão entre atividades e elementos, os recursos gráficos disponíveis e a geração de animação e de vídeos entre as três possibilidades selecionadas. As três alternativas foram consideradas similares e, como a aluna já tinha experiência com o *Synchro PROTM* durante disciplinas cursadas ao longo da graduação e existia possibilidade de auxílio de pessoas familiarizadas com o programa, este *software* foi o escolhido.

5.1.3.3 Análise de Layout e Logística de Canteiro

Para esta etapa foram empregados dois *software*, isto é, o *Autodesk Revit* para a de modelagem 3D do canteiro e dos demais itens necessários para o projeto, e o de simulação 4D – para a análise de sequenciamento das atividades e da logística de canteiro.

5.1.4 Elaboração do PSP

5.1.4.1 Definição da Sequência de Execução e Pré-dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção

Para a elaboração do PSP propriamente dito, seguiu-se as etapas elencadas no Capítulo 4. Primeiramente, foi necessário realizar um esboço do planejamento de longo prazo do empreendimento, o qual teve a sua EAP (estrutura analítica de projeto) baseada em obras similares já concluídas pela empresa. Assim, nas reuniões iniciais com o diretor e o engenheiro da empresa foi possível definir o nível de detalhamento do plano, a unidade base e o tempo máximo de execução da obra, o qual foi estipulado em 30 meses.

Como se definiu que a unidade base deste trabalho seria o pavimento tipo, visto que este empreendimento possuía apenas um apartamento por andar, estipulou-se que o tamanho do lote de produção das tarefas fosse meio pavimento, dividindo as unidades em área social (gabinete, sala, cozinha e área de serviço) e área íntima (4 suítes) (Figura 13), dado que poderia ser utilizada mais de uma equipe por pavimento em uma mesma tarefa. Assim, o próximo passo foi definir a sequência de execução das atividades (Figura 14) e a forma como elas seriam

contratadas, determinando o nível de integração vertical, as tecnologias e os sistemas construtivos a serem empregados. Neste caso, foi definido pela diretoria da empresa que o regime de contratação seria a empreitada global e que diversos elementos seriam industrializados, pois, mesmo que haja a necessidade de uma análise logística mais aprofundada e detalhada, essa prática diminui a variabilidade da construção pelo fato de que algumas atividades são produzidas em ambientes controlados, além de se gerar menos resíduos. Ademais, o uso de tecnologias industrializadas também pode contribuir para reduzir o tempo de ciclo e permitir um controle financeiro mais preciso sobre seus contratados. Entretanto, isso aumentou o custo total, sendo necessário analisar cada alternativa em termos de relação custo-benefício, a qual foi influenciada pela necessidade de contratação de equipamentos de transporte e definição da área de vivência.

Figura 13 – Lote de Produção da Unidade Base



(Fonte: elaborado pela autora)

Figura 14 - Rede de Precedência da Unidade Base



(Fonte: elaborado pela autora)

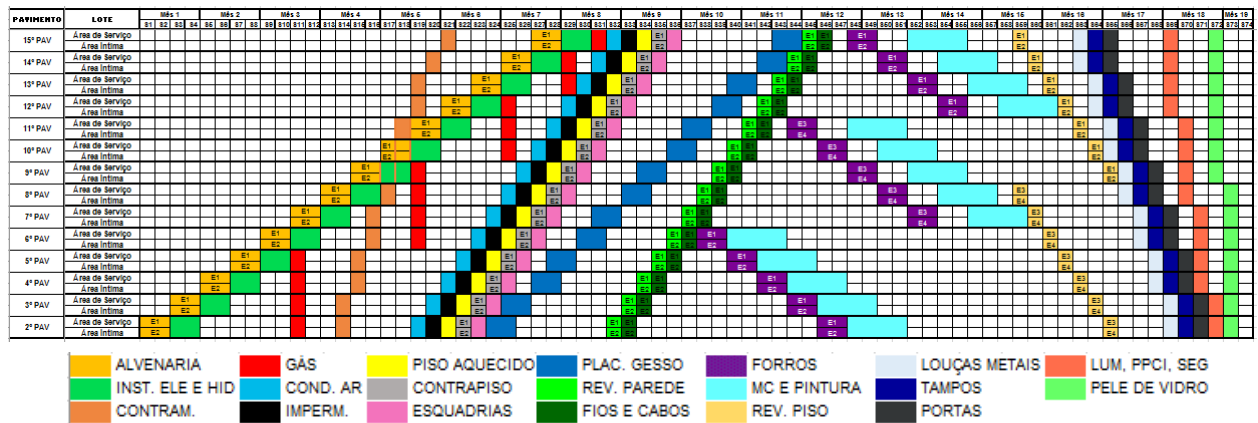
Na sequência, também foi feito um pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção da unidade base, o qual foi realizado de acordo com as informações fornecidas pelas subempreiteiras a serem contratadas e pela experiência profissional do diretor, do engenheiro e da autora.

5.1.4.2 Estudo dos Fluxos de Trabalho na Unidade-Base

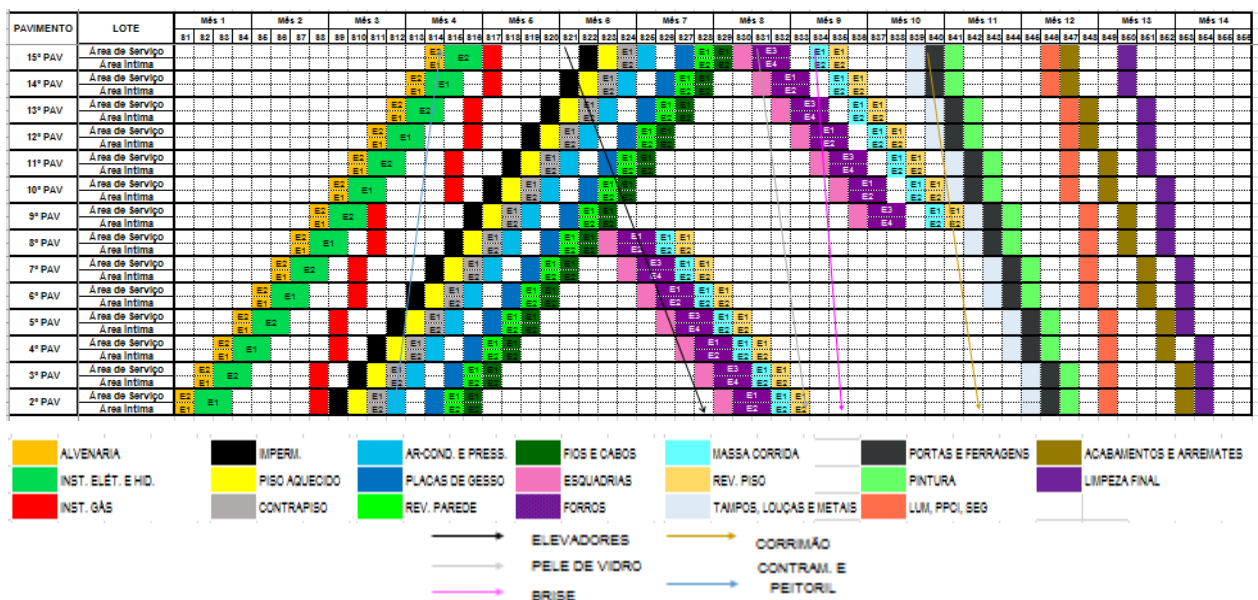
A partir da compilação dessas informações, foi possível elaborar a linha de balanço da unidade base afim de identificar possíveis interferências entre equipes e de analisar e compatibilizar os fluxos de trabalho. Desse modo, o primeiro lançamento da rede de precedência foi alterado, em conjunto com o engenheiro da empresa, na tentativa de melhorar a utilização dos recursos e de diminuir o trabalho em progresso. Assim, foi possível reduzir o tempo de ciclo e propor um dimensionamento mais aproximado dos lotes de produção e de transferência dos diversos processos que compõe a execução do pavimento tipo. Conforme pode ser visualizado na Figura 15 a seguir, as principais alterações de redução do tempo de ciclo ocorreram na execução da alvenaria, do revestimento de gesso (parede e forro), da massa corrida e da pintura, dado que, com o aumento do número de equipes, o ritmo das atividades aumentou, sendo possível balancear o conjunto de tarefas e, assim, reduzir o trabalho em progresso existente. Outra mudança com grande impacto foi a separação das atividades de massa corrida e pintura, visto que isso também ajudou a diminuir o trabalho em progresso e permitiu uma rede de precedência

mais próxima da prática comum, isto é, a pintura geralmente é prevista em uma fase mais avançada da obra afim de evitar retrabalhos. Ademais, por solicitação da diretoria, algumas atividades tiveram sua sequência alterada, como foi o caso das esquadrias e das placas de gesso, pois a mesma considerou que o alto custo das esquadrias justifica o adiamento de sua instalação, mesmo que isso acarrete na necessidade de troca de algumas placas devido à presença de umidade.

Figura 15 - Linhas de Balanço da Unidade Base (a) Inicial e (b) Final



(a)



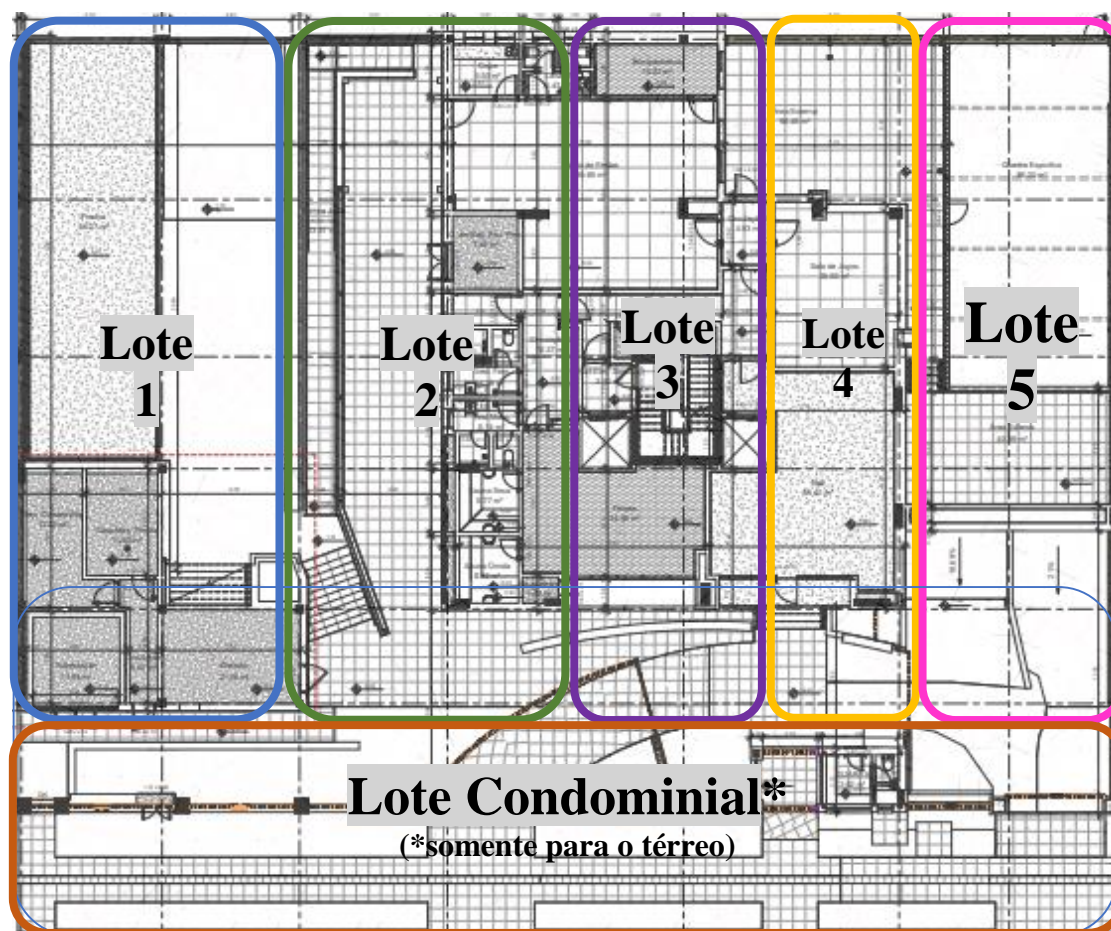
(b)

(Fonte: elaborado pela autora)

5.1.4.3 Estudo dos Fluxos de Trabalho no Empreendimento

O passo seguinte para a elaboração do PSP foi realizar o planejamento do empreendimento a partir da estratégia proposta para a unidade base, isto é, foram definidas as frentes de trabalho, bem como o tamanho dos demais lotes de produção e de transferência e o ritmo de execução dos processos, sincronizando os fluxos de trabalho do empreendimento como um todo. Lembrando que as atividades iniciais possuem ritmo e logística distintos das que ocorrem na unidade base, diferentes lotes precisaram ser estipulados. Para isso, dividiu-se as atividades de infraestrutura e de estrutura da base (subsolo 1, 2 e térreo), a qual ocupa o terreno inteiro, em 5 lotes, e a estrutura da torre e a instalação do PPCA por pavimento; além daqueles lotes existentes, foi necessário criar mais um para o pavimento térreo, pois as atividades condominiais externas foram tratadas a parte das demais (Figura 16). Em função disto, foi feito um pré-dimensionamento dos tempos de ciclo e dos lotes de produção e transferência de todo o empreendimento, o qual é apresentado na Tabela 3.

Figura 16 - Lotes de Produção dos Subsolos 1 e 2 e Térreo



(Fonte: elaborado pela autora)

Tabela 3 - Pré-dimensionamento da Capacidade de Recursos

Atividade	Tempo de Ciclo (dias úteis)	Mão de Obra	Lote de Produção	Lote de Transferência
Escavações e Contenções	40	3 Equipes	Lote 1 a 5	Lote
Gabarito	5	1 Equipe	Lote 1 a 5	Lote 1 a 5
Estaqueamento e Blocos e Vigas de Baldrame	20	2 Equipes	Lote 1 a 5	Lote
Pré-moldado Base	60	1 Equipe	Lote 1 a 5	Lote 1 a 5
Estrutura Torre	10	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
PPCA	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Imperm. PPCA	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Alvenaria	10	2 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Instalações Elétricas e Hidrossanitárias	10	2 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Instalações de Gás	5	1 Equipe	4 Pavimentos	1 Pavimento
Contramarcos	5	1 Equipe	2 Pavimentos	1 Pavimento
Impermeabilização	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Piso Aquecido	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Contrapiso	5	2 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Cond. De Ar e Pressurização	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Esquadrias	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Revestimento de Gesso	15	1 Equipe	2 Pavimentos	1 Pavimento
Revestimento Paredes	5	2 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Fios e Cabos	5	2 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Forro de Gesso	10	4 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Massa Corrida e Pintura	20	4 Equipes	1 Pavimento	1 Pavimento
Revestimento Piso	5	2 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Louças e Metais	5	1 Equipe	2 Pavimentos	1 Pavimento
Tampos	5	1 Equipe	2 Pavimentos	1 Pavimento
Portas e Ferragens	5	1 Equipe	2 Pavimentos	1 Pavimento
Luminárias, PPCI e Segurança	5	3 Equipes	4 Pavimentos	1 Pavimento
Arremates	5	2 Equipes	4 Pavimentos	1 Pavimento
Limpeza Final	5	3 Equipes	5 Pavimentos	1 Pavimento
Elevador	40	2 Equipes	15 Pavimentos	1 Pavimento
Pele de Vidro	10	1 Equipe	15 Pavimentos	15 Pavimentos
Brise	10	1 Equipe	7 Pavimentos	1 Pavimento
Corrimão	10	1 Equipe	15 Pavimentos	1 Pavimento

(Fonte: elaborado pela autora)

Nesta etapa, diversas abordagens e redes de precedências foram propostas pela autora, isto é, diferentes sequências de execução, ritmos e lotes de produção, sendo definidos 3 cenários para o planejamento de longo prazo de acordo com a viabilidade financeira da obra: recursos próprios, financiamento e vendas das unidades. Isso se deve ao fato de que o gasto inicial do empreendimento é bastante elevado, necessitando, assim, de uma alta disponibilidade inicial de capital, a qual varia de acordo com a forma como esses recursos são viabilizados. Colocando de outra maneira, caso seja utilizado recursos próprios da empresa, a liberação se sucede no ritmo que a mesma deseja, porém, no caso de financiamento, ocorre baseada no planejamento da obra, acontecendo de maneira mais gradativa e constante. No caso da venda de unidades, este possui uma entrada de recursos financeiros mais demorada e inconstante. Assim, a seguir (Figura 17, 18 e 19) encontram-se as linhas de balanço para os 3 prováveis cenários solicitados pela incorporadora D, visto que a partir delas é possível verificar os tamanhos de lote e os ritmos propostos para cada abordagem, deixando claro o planejamento previsto para cada situação. Além disso, na Tabela 4 encontra-se o custo inicial de cada um dos cenários em relação ao orçamento previsto da obra, tendo como base de comparação a metade inicial de cada plano de longo prazo.

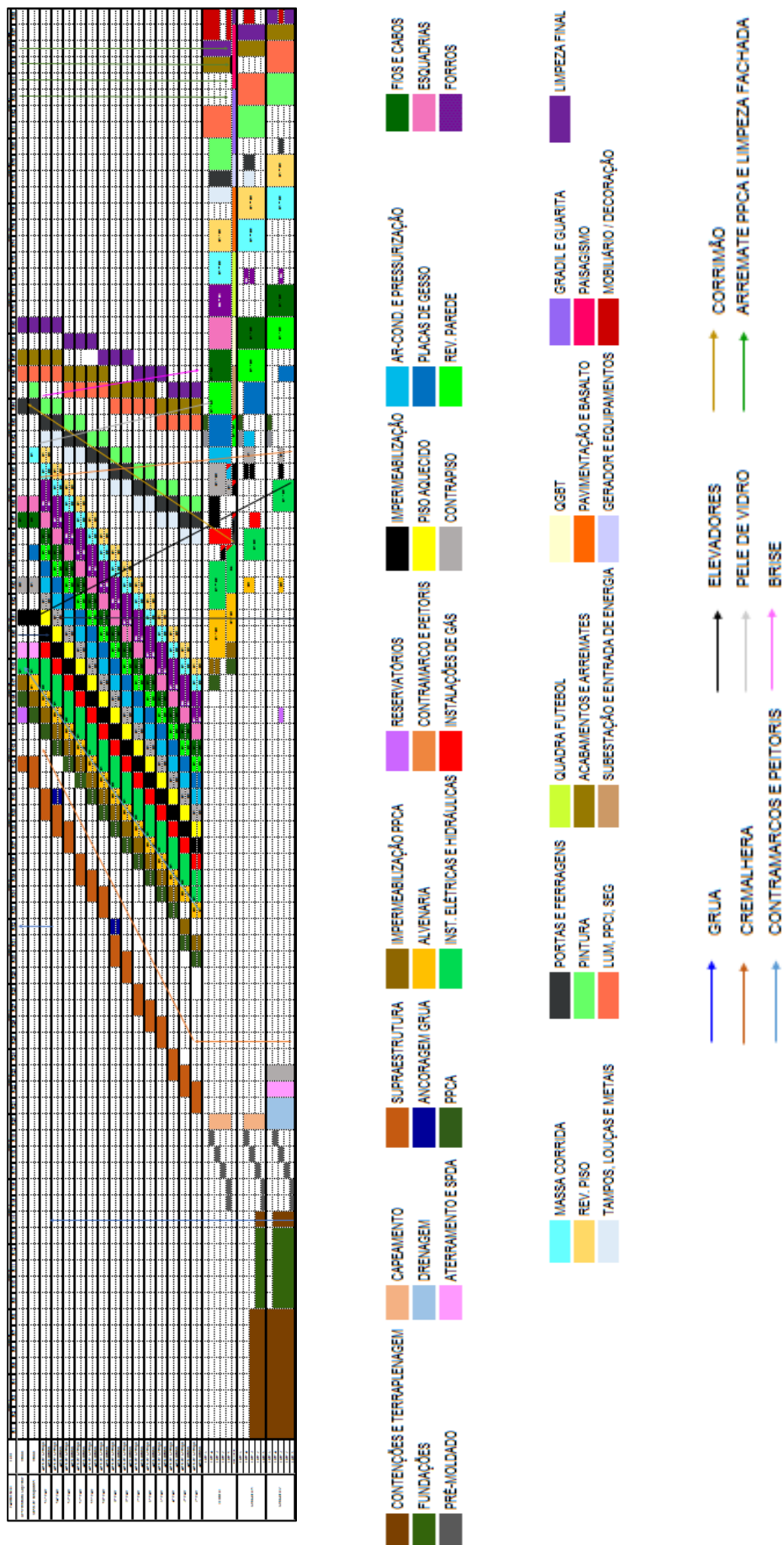
Tabela 4 – Custo Inicial dos Cenários Previstos

Cenário	Custo Inicial (%)*
Recursos Próprios	60%
Financiamento	45%
Vendas Unidades	50%

*em relação ao orçamento previsto da obra

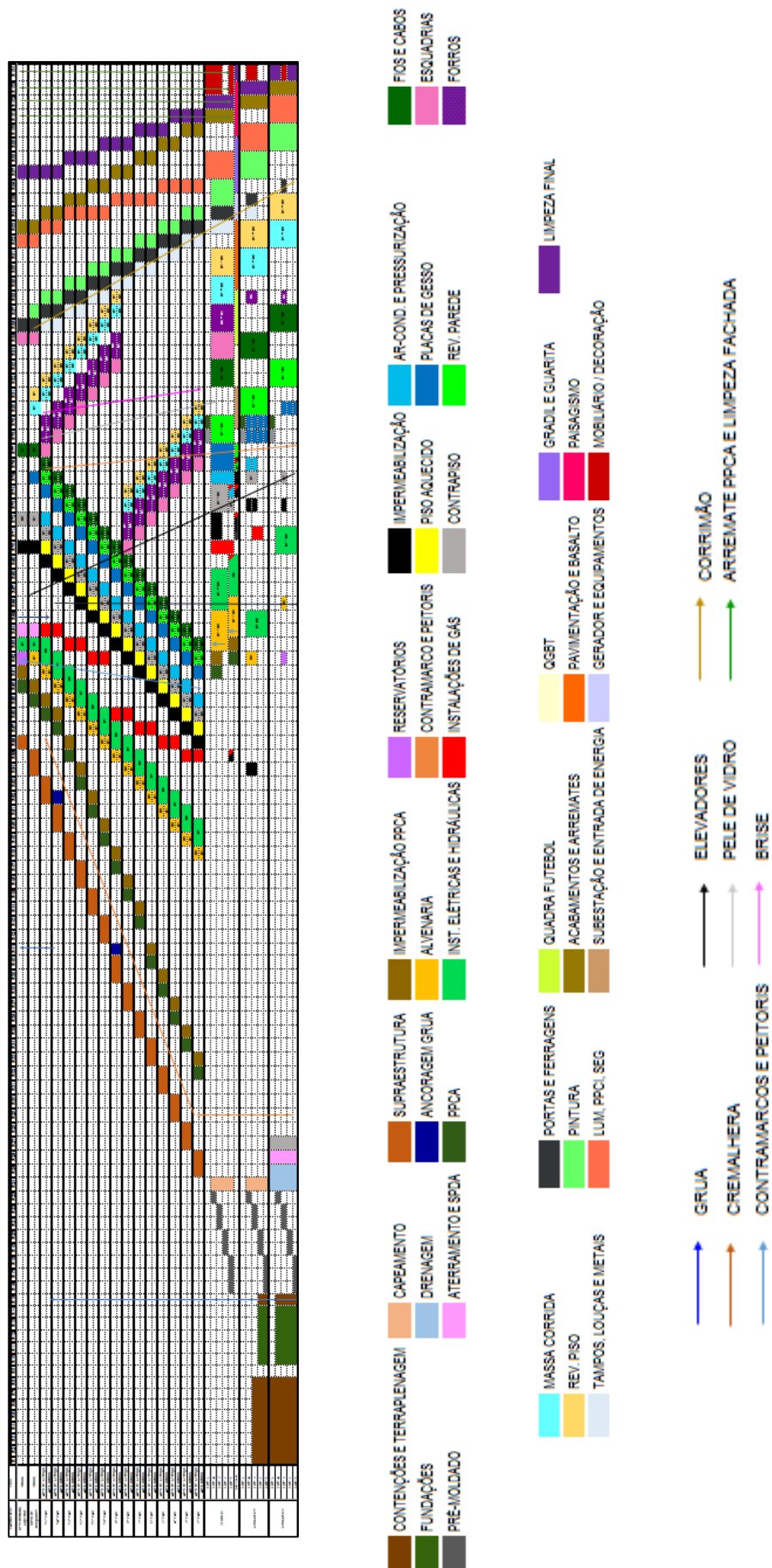
(Fonte: empresa D)

Figura 17 - Linha de Balanço: Cenário Recursos Próprios



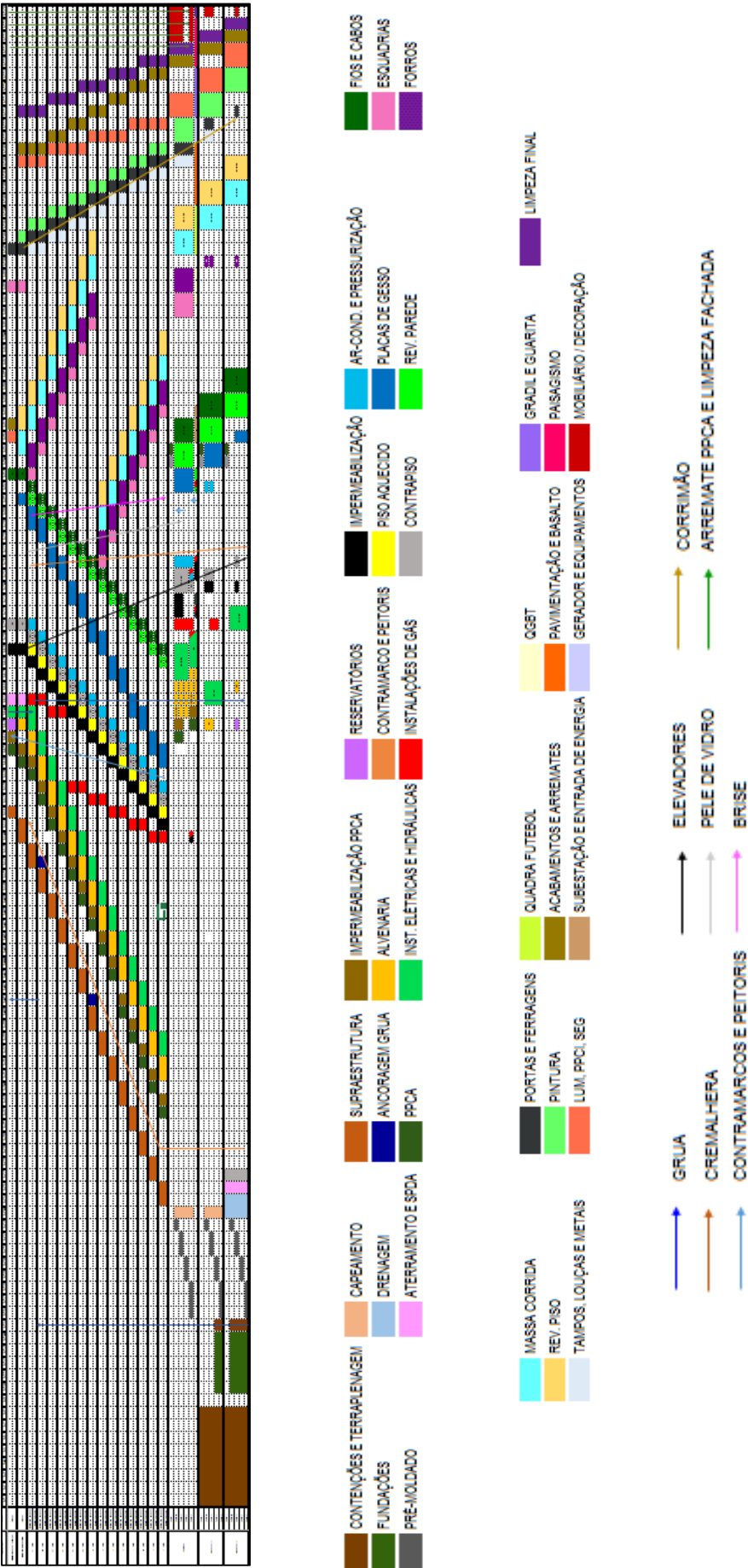
(Fonte: elaborado pela autora)

Figura 18 - Linha de Balanço: Cenário Financiamento



(Fonte: elaborado pela autora)

Figura 19 - Linha de Balanço: Cenário Venda Unidades



Outro ponto bastante questionado pelo diretor da empresa foi a respeito das atividades críticas e o seu impacto na duração da obra. Diante disso, a autora questionou a possibilidade de haver customização das unidades privativas, dado que essa prática pode trazer tanto complicações como benefícios para o empreendimento. Quando mal gerenciada, pode causar atrasos, retrabalhos, falta de confiabilidade da qualidade, etc., porém, quando bem gerenciada, o custo acrescido pode ser inferior aos benefícios em termos de geração de valor, pois atende-se à demanda do cliente, mantendo a qualidade do serviço. No entanto, o diretor definiu que isso não será adotado como premissa, visto que a empresa não pretende dar tal liberdade para o cliente, devido a muitos problemas presenciados nos empreendimentos passados. Portanto, com o intuito de garantir um bom desenvolvimento das atividades críticas (infraestrutura, estrutura, PPCA, alvenaria, revestimento e forro de gesso) foram adicionados *buffers* entre elas (Figuras 18 e 19). Entretanto, essa prática só foi realizada nos cenários de financiamento e de venda das unidades porque o próprio diretor solicitou que o planejamento para a viabilidade sobre recursos próprios fosse realizado no menor tempo possível, sendo dispensáveis as reservas de segurança (Figura 17). Desse modo, cada cenário proposto possui uma duração distinta e elas podem ser verificadas na Tabela 5.

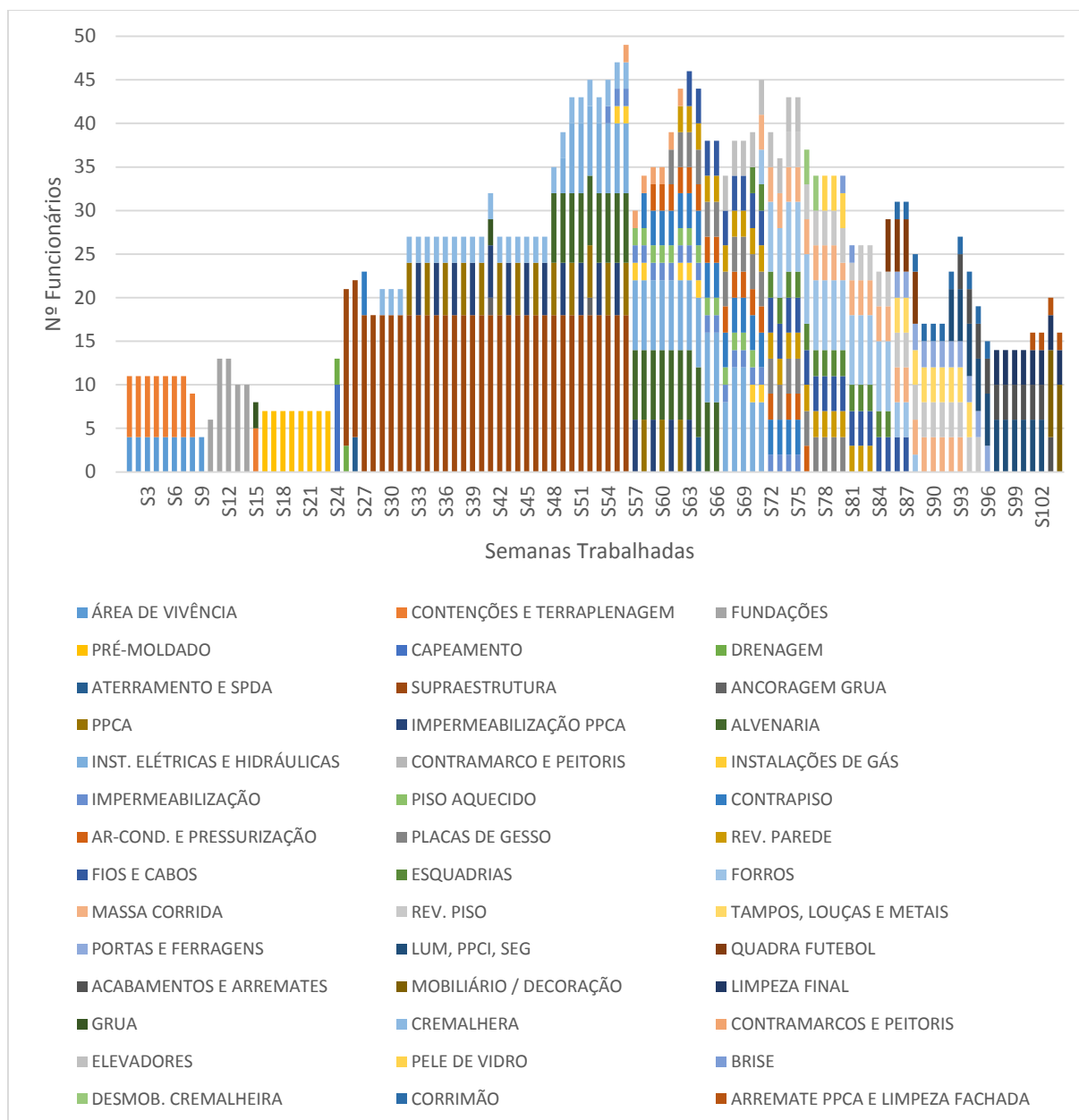
Tabela 5 - Duração da Obra de Acordo com os Cenários Previstos

Cenário	Duração (mês)
Recursos Próprios	22
Financiamento	26
Vendas Unidades	30

(Fonte: elaborado pela autora)

Por conseguinte, o próximo passo foi elaborar histogramas de mão de obra a partir das linhas de balaço para verificar a oscilação de contratação. Contudo, visto que o sistema de contratação é por empreitada global, a empresa D não pretende se responsabilizar pela disponibilidade de mão de obra no canteiro, isto é, a subempreiteira contratada deve viabilizar os recursos necessários para garantir a realização da atividade no custo e no prazo estipulado. Desse modo, as estimativas previstas no histograma foram realizadas pela autora e pelo engenheiro da empresa e só serviram para o dimensionamento da área de vivência, o qual foi feito com base no cenário intermediário – financiamento - e atingiu o pico aproximado de 50 funcionários (Figura 20).

Figura 20 - Histograma de Mão de Obra: Cenário Financiamento



(Fonte: elaborado pela autora)

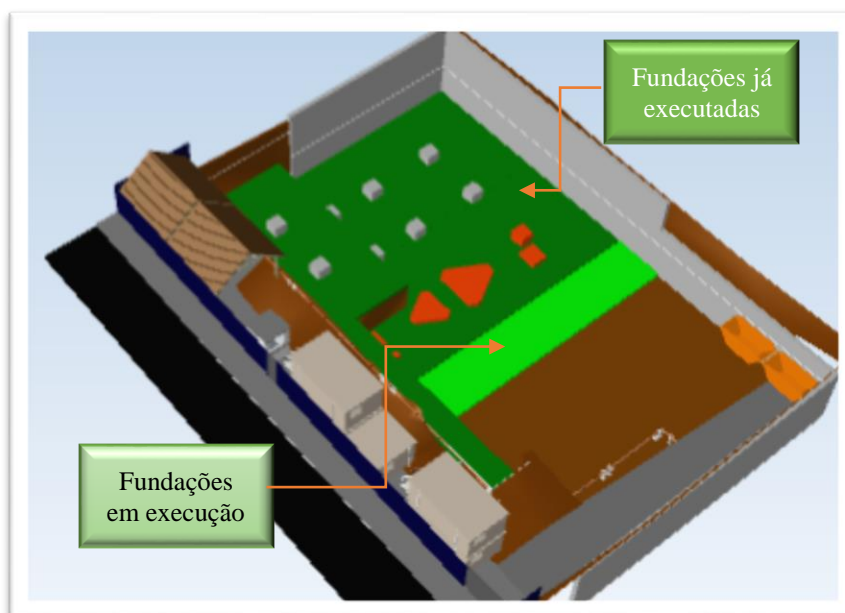
5.1.4.4 Definição dos Parâmetros de Modelagem e Modelagem do Empreendimento

A seguir, tendo em vista que, para se ter um sistema de produção eficiente e eficaz, é necessário que tanto o diretor quanto os engenheiros, os mestres e os fornecedores chaves consigam entender e visualizar o plano de ataque proposto, dado que são os principais usuários do modelo, a autora realizou a modelagem 4D, a qual englobou apenas o cenário do financiamento. Essa decisão foi tomada pelo diretor da empresa, pois o cenário de recursos próprios era praticamente

inviável na época em que o estudo foi realizado, sendo dispensável a sua simulação no momento. Já a alternativa de vendas de unidades, segundo o mesmo, serviria apenas como referência para o prazo máximo da obra, sendo suficiente o seu plano de longo prazo. Desse modo, diante do seu ponto vista, a alternativa que justificava o uso da simulação e que traria maiores benefícios ao planejamento da obra era a do cenário de financiamento.

Como a maioria dos projetos do objeto de estudo já haviam sido confeccionados em BIM 3D, a autora não necessitou modelá-los do princípio, mas apenas algumas partes necessárias para proporcionar um melhor encaixe dos lotes de produção na simulação do plano tático. O único projeto que ainda não havia sido modelado pelo projetista era o de fundações, pois existia apenas um pré-lançamento das estacas, o qual foi realizado a partir de uma locação das cargas aproximada. Desse modo, a autora optou por realizar a modelagem, porém, em consequência de a sondagem ter sido realizada no início deste estudo, implicando em uma solução técnica diferente da prevista, e ainda não tendo o seu projeto finalizado, essa ideia foi descartada, sendo sugerida apenas uma representação simbólica da atividade na simulação 4D (Figura 21 – “solo verde”).

Figura 21 - Representação Simbólica das Fundações na Simulação BIM 4D



(Fonte: elaborado pela autora)

Já no processo de modelagem 4D, a autora ajustou desde o plano de longo prazo no *MSPProject*, visto que algumas atividades precisaram ser rearranjadas para facilitar a apropriação dos

recursos às tarefas no *software* de simulação, até a apropriação dos elementos 3D aos seus respectivos recursos no *Synchro PRO™*. Entretanto, em virtude de o enfoque deste estudo ser as atividades de alto custo e com alta dependência logística, as quais se concentram na primeira metade da obra, a autora optou por não modelar a unidade base. Ademais, em razão do alto número de tarefas que a compõe, há um elevado nível de detalhamento, tornando o modelo mais pesado e lento, sendo, pois, dispensáveis para que o escopo deste trabalho seja alcançado. Além disso, por se tratar de uma versão estudantil, o *software* 4D apresentou limitação de 125 tarefas, impossibilitando, também, a realização de uma simulação completa do plano de ataque, dado que o plano original apresentava mais de 600 atividades. Dessa forma, os itens de projeto que constituem o escopo da simulação 4D deste trabalho são: (a) Escavações e Reaterramento; (b) Contenções Atirantadas; (c) Estaqueamento; (d) Blocos e Vigas de Baldrame; (e) Estrutura Pré-moldada e Capeamento (subsolos 1 e 2 e térreo); (f) Estrutura moldada *in-loco* (torre); (g) Fachada PPCA; (h) Fachada Pele de Vidro; (i) Fachada Brise Metálico; (j) Áreas de Vivência Externas; (k) Gabaritos; (l) Estoque PPCA; (m) Local de Descarga de Material; (n) *Containers* de Lixo; (o) Grua; (p) Elevador Cremalheira; (q) Bandeja Primária; e (r) Proteção Periférica.

Tendo em vista que cada projetista contratado é responsável pela elaboração do seu projeto em específico, cada competência, como, por exemplo, arquitetura, estrutura, instalações elétricas, instalações hidrossanitárias, PPCI, entre outras, possui um modelo 3D isolado, totalizando em torno de 17 modelos. Desse modo, na fase de simulação 4D, o principal problema encontrado foi a incompatibilidade do nível de desenvolvimento de alguns desses modelos 3D. Isso acontece quando o modelo não é desenvolvido para a finalidade na qual ele está sendo utilizado, ou seja, possui detalhes a mais ou a menos do que o necessário. No caso deste trabalho, o modelo que mais apresentou dificuldade para ser modelado no 4D foi o projeto estrutural, desde os blocos e vigas de fundação até a estrutura da casa de máquinas e do reservatório superior. As incompatibilidades apareceram na inexistência das vigas de baldrame e da divisão entre os muros de contenção e a própria estrutura pré-moldada da base; além da má modelagem dos pilares da estrutura da torre, a qual apresentava, por exemplo, pilares de dois pavimentos unificados, pilares divididos em 3 partes distintas, vigas mais altas que o previsto, lajes sem pilares de sustentação, entre outros. A justificativa dos projetistas para isso, foi que o projeto ainda se encontrava na fase de anteprojeto, não sendo possível verificar e ajustar tais incompatibilidades naquele momento. Alguns desses problemas puderam ser amenizados,

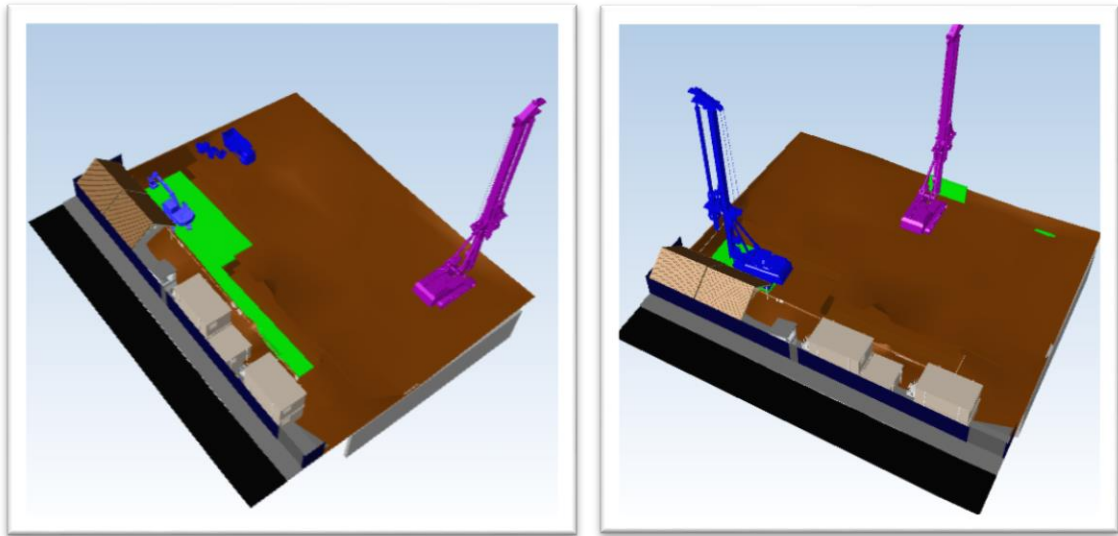
enquanto outros permaneceram conforme haviam sido modelados. Entretanto, todas essas inconsistências atrasaram consideravelmente o processo de modelagem 4D.

5.1.4.5 *Layout* do Canteiro e Definição da Estratégia de Execução Empreendimento

Passados os desafios iniciais, a partir da primeira simulação realizada, os participantes puderam ter uma melhor noção de como a sequência de execução seria efetivada e como o modelo 4D auxilia na fase de tomada de decisões, dado que se pode testar diversas alternativas e verificar os seus resultados imediatamente. Todavia, para o plano de ataque ser completo, é necessário acrescentar as operações logísticas no canteiro de obras ao PSP, conforme sugerido por Biotto (2015), isto é, as áreas de vivência, a grua, o elevador cremalheira, os estoques principais, entre outros elementos temporários.

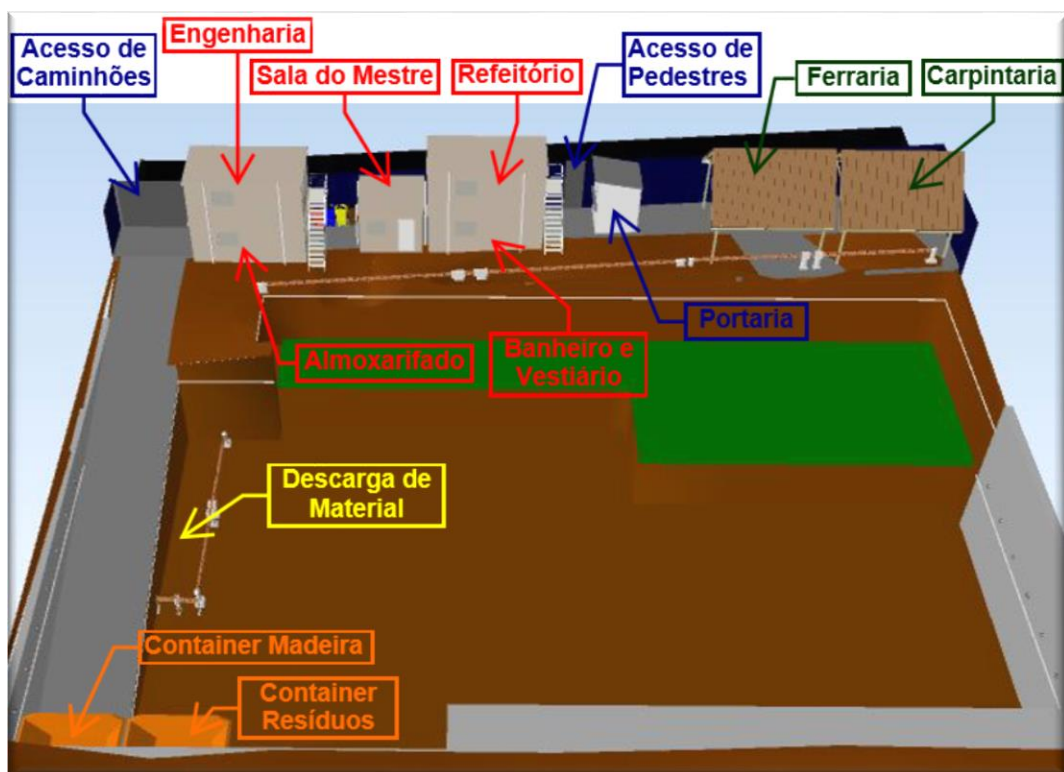
Assim, o modelo 3D auxiliou no *layout* das instalações provisórias, sendo que a empresa optou pela utilização de *containers* para o escritório da engenharia, o almoxarifado inicial, o refeitório e os banheiros e vestiários, uma vez que os mesmos podem ser alugados, sua instalação é rápida e há a possibilidade de se ter dois pavimentos – este foi um fator decisivo, dado que o empreendimento ocupa quase a totalidade do terreno. Já durante o período de escavações e fundações, o modelo 4D auxiliou na análise logística da execução das paredes diafragmas, dos tirantes, das escavações e do estaqueamento. Como questões críticas havia, principalmente, a região do subsolo 1, na qual havia estacas extras em um nível diferente das do subsolo 2. Para isso, com a simulação foi possível verificar o melhor momento para se realizar a escavação da região mais elevada e fazer o estaqueamento sem que essas atividades atrapalhassem a execução das paredes diafragmas e nem atrasassem o cronograma. Tal análise e o *layout* das instalações provisórias da primeira fase podem ser verificados nas Figuras 22 e 23, respectivamente.

Figura 22 - Análise Tráfego Escavação x Contenção



(Fonte: elaborado pela autora)

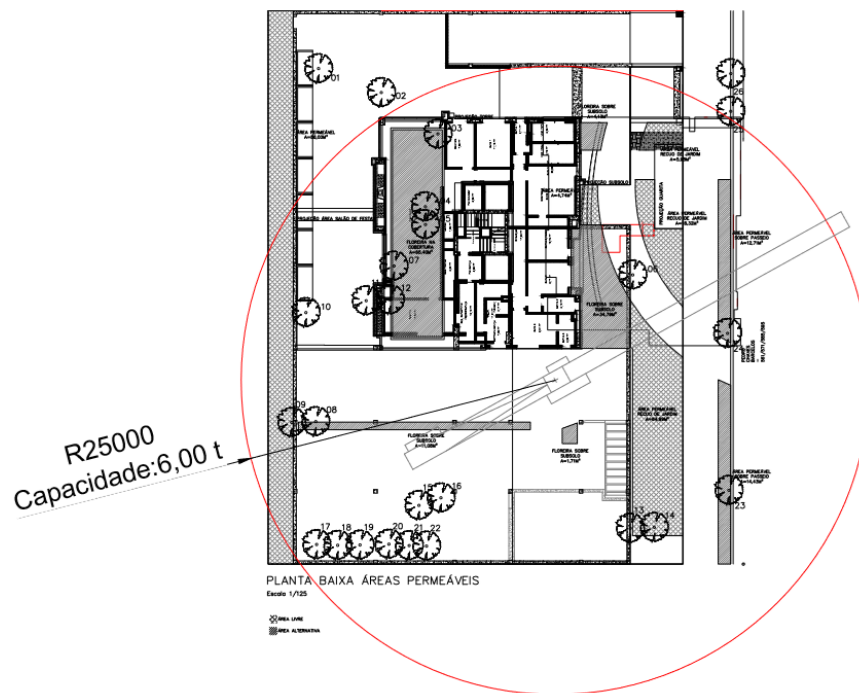
Figura 23 - 1º Layout do Canteiro



(Fonte: elaborado pela autora)

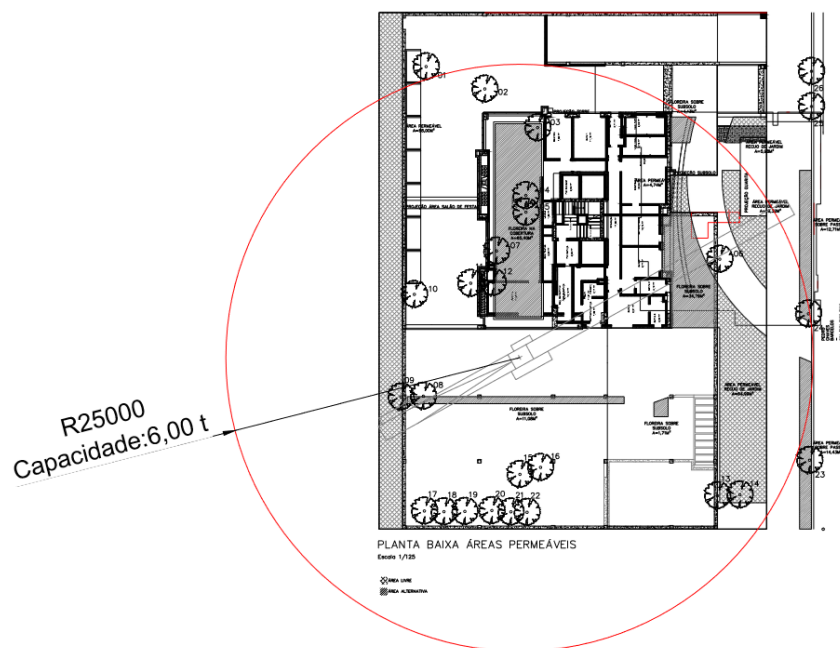
Em um segundo momento, a análise 3D e 4D deu-se quanto ao posicionamento da grua, item imprescindível para o escopo existente. A partir de um estudo preliminar realizado na concepção do projeto, uma grua com 25m de lança e capacidade de ponta de 6 ton foi posicionada na lateral esquerda da torre (Figura 24), uma vez que a sua estrutura não cabia no interior do poço do elevador. Contudo, seu raio não abrangia a totalidade do terreno e, principalmente, sua posição inviabilizava a instalação de uma das prumadas do PPCA, a qual deveria ser alocada com o auxílio de um guindaste após a retirada da grua. A outra possibilidade seria colocá-la na região da laje técnica (Figura 25), a qual seria revestida com um brise metálico em uma etapa mais avançada da obra. Contudo o custo para realizar as fundações necessárias da grua elevou ainda mais o custo da alternativa. Por fim, ao traçar o plano de ataque com a subempreiteira responsável pela execução da estrutura da torre e da fachada em PPCA, surgiu a possibilidade de utilizar uma grua de menor capacidade (25m de lança e 2,5 ton de capacidade de ponta) disponibilizada pelo próprio fornecedor, cabendo à contratante apenas os custos de mobilização, manutenção e desmobilização do equipamento (Figura 26). Como o custo deste item é bastante alto, esta opção tornou-se bastante atrativa. Além disto, com a possibilidade de colocar a grua dentro do poço do elevador, não eram necessárias de fundações extras, haveria mais segurança em relação à presença de ventos fortes, e o raio de alcance abrangeria todo o canteiro. No entanto, o único inconveniente era a necessidade de dividir alguns painéis (itens com mais de 5 ton) em partes menores para que pudessem ser içados pelo equipamento, o que se tornou viável dado que a fase de projeto ainda estava em andamento e a autora é responsável pela coordenação dos projetos da empresa, tendo maior autonomia para realização dos ajustes necessários. Ademais, como um benefício extra, a subempreiteira em questão tinha relações de parceria com a empresa encarregada pela estrutura pré-moldada, o que viabilizou a instalação antecipada da grua, servindo, também, como um meio de transporte vertical para as peças pré-moldadas mais leves, diminuindo, assim, o tempo de uso dos guindastes e, conseqüentemente, o seu custo. Logo, a opção 3 foi a escolhida e, portanto, a modelada no projeto do sistema de produção.

Figura 24 – Posição da Grua (OPÇÃO 1)



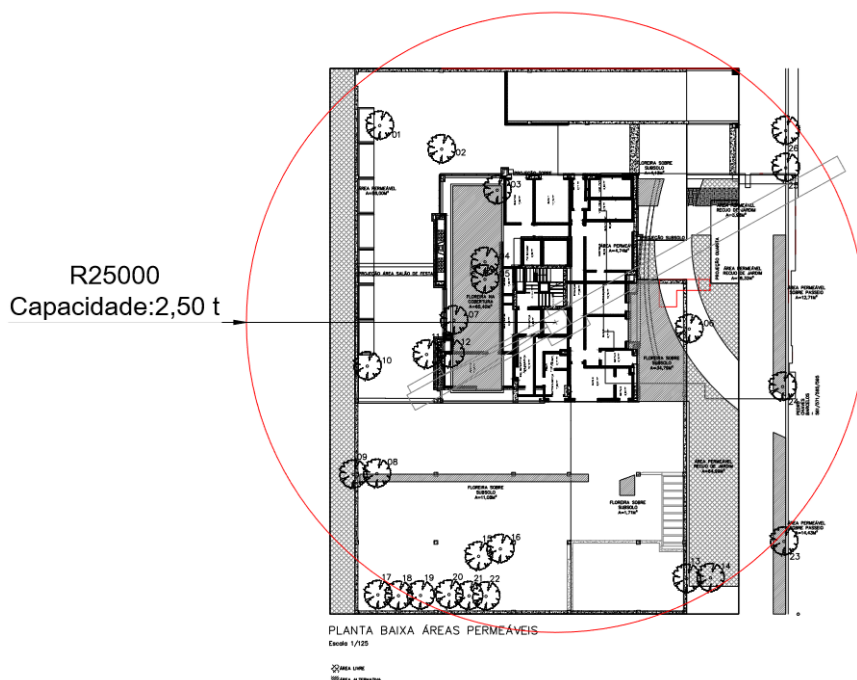
(Fonte: elaborado pela autora)

Figura 25 - Posição da Grua (OPÇÃO 2)



(Fonte: elaborado pela autora)

Figura 26 - Posição Grua (OPÇÃO 3)

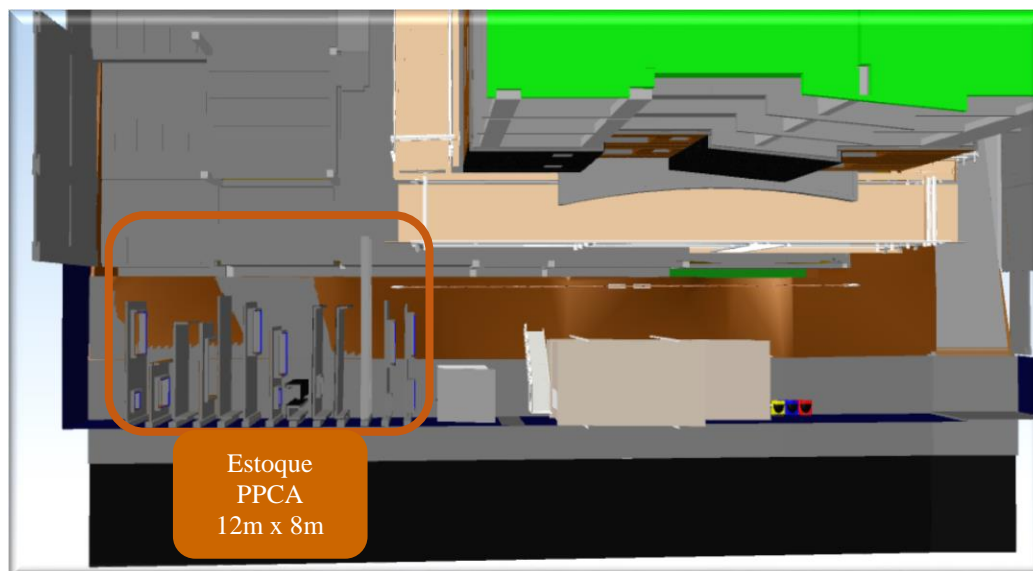


(Fonte: elaborado pela autora)

Outro item logístico de grande importância é a localização do estoque de PPCA, em razão do plano de cargas da grua e da sua elevada carga estática. O ideal para esta atividade seria uma instalação *just in time*, isto é, a peça ser instalada logo após a sua retirada do caminhão de transporte. No entanto, na percepção do subempreiteiro, essa prática é difícil de ser implementada, sendo necessário um estoque em obra que “quanto maior, melhor”. Porém, o canteiro era bastante limitado e não havia área disponível para depósito de mais do que 12 painéis, o equivalente a um pavimento. Assim, a partir do auxílio proporcionado pelos modelos BIM 3D e BIM 4D, a região em frente ao salão gourmet foi analisada e escolhida para estocar o material (Figura 27), sendo edificada somente após a instalação do PPCA no pavimento térreo, evitando, pois, problemas no içamento das peças. Para definir o local, foi necessário ter o aval dos projetistas geotécnico e estrutural, visto que a alta pressão aplicada no solo e na laje poderia causar instabilidade nos muros de contenção e nas lajes. Felizmente, segundo eles, a solução adotada não traria grandes impactos ao projeto, desde que as seguintes medidas fossem tomadas: (a) considerar, no dimensionamento dos muros de contenção localizados na região do estoque, a pressão extra causada no solo devido à presença da carga distribuída dos painéis; e (b) prever uma alta taxa de escoramento para a região da laje que iria receber os painéis e, além disso, reforçar o contrapiso armado da base para evitar qualquer recalque do solo devido à uma possível sobrecarga localizada. Desse modo, pelo fato de o empreendimento ainda estar em fase

de projeto e de a autora conseguir ajustar e providenciar tais demandas com os projetistas envolvidos, o local previsto para estoque foi viabilizado.

Figura 27 - Localização Estoque PPCA

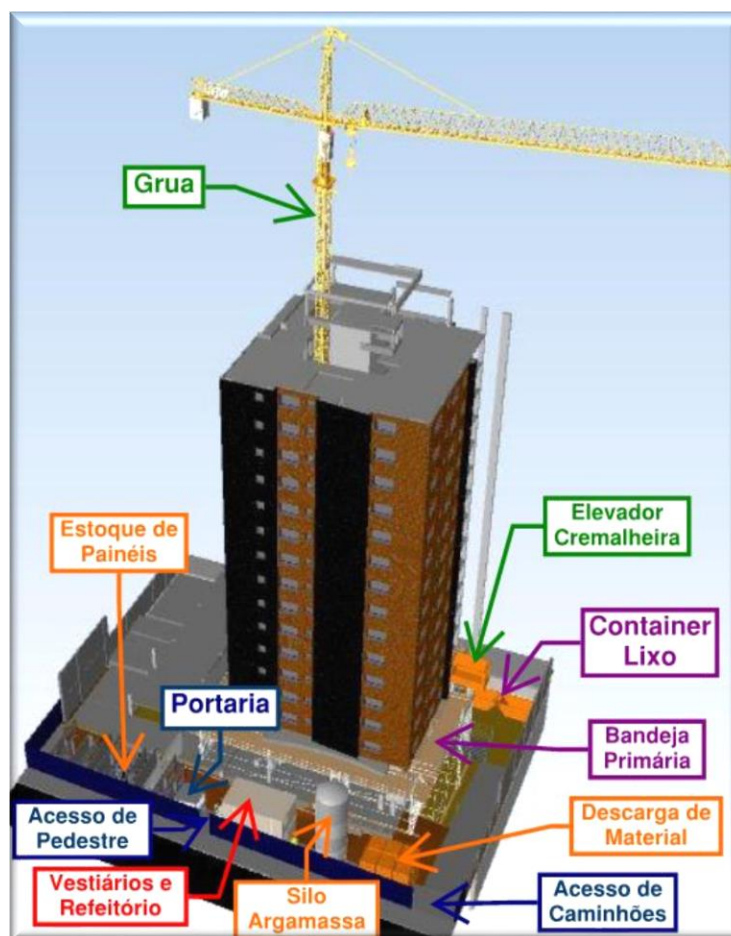


(Fonte: elaborado pela autora)

De uma maneira geral, a direção da empresa solicitou que nenhum caminhão fosse descarregado além do limite do tapume, mesmo que essa prática seja usada, em especial nos casos de canteiros muito apertados, com autorização da EPTC¹⁶. Por conseguinte, o lote 5 da base teve que ter todas as suas atividades adiadas para que pudesse ser viabilizada a construção de uma doca com rampa para entrada, descarga e saída de caminhões da obra. Como consequência, o elevador cremalheira, localizado na região da pele de vidro (limite entre lote 4 e 5), tem condições de atender todos os 17 pavimentos, o que viabilizou a utilização dos subsolos como área de estoque de materiais e de realocação das áreas de vivência, propiciando, assim, o segundo *layout* do canteiro (Figura 28).

¹⁶ A EPTC (Empresa Pública de Transporte e Circulação) é uma empresa pública, que visa regular e fiscalizar as atividades relacionadas com o trânsito e os transportes do Município de Porto Alegre - RS. Fonte: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/>

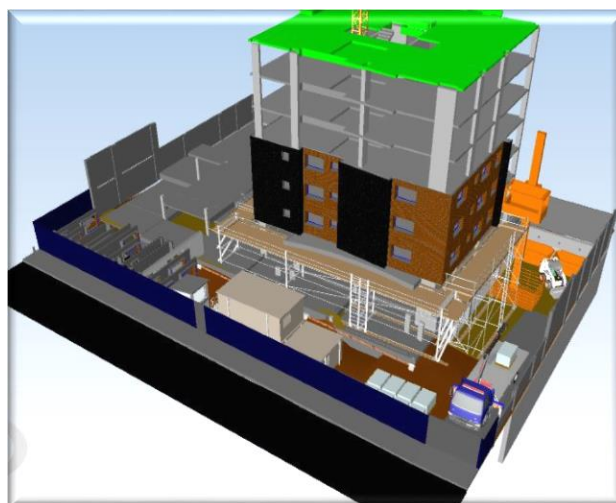
Figura 28 - 2º Layout do Canteiro



(Fonte: elaborado pela autora)

Ademais, foi definido que a instalação do elevador deve ser realizada durante a execução laje do 3º pavimento e, após, subirá com o mesmo ritmo da estrutura para que a grua fosse de uso exclusivo da movimentação da mesa voadora e da instalação do PPCA. Nesta etapa, a simulação BIM 4D foi de grande valia para sincronizar os fluxos das atividades de instalação do cremalheira, de recebimento de material, de desmobilização do elevador e de execução da pele de vidro (Figura 29).

Figura 29 - Logística Elevador Cremalheira



(a)

Montagem do Elevador Cremalheira e Recebimento de Materiais



(b)

Elevador Cremalheira Retirado e Execução do Lote 5 e da Pele de Vidro



(c)

Lote 5 e Pele de Vidro Finalizados

(Fonte: elaborado pela autora)

A próxima grande atividade, que ocorre após a instalação da fachada, é a execução da alvenaria, a qual não foi modelada, mas que teve o seu estoque pensado a partir das simulações realizadas. Assim, como pode ser visualizado na Figura 27, ficou definido que os pallets devem ser descarregados na antiga localização da engenharia e do almoxarifado e ser transportados para o seu estoque no subsolo 2 com o auxílio de uma *bobcat* paleteira, a qual fará todo o transporte horizontal dentro do canteiro. A não possibilidade de descarga próximo ao subsolo 2 se dá pelo

fato de que a bandeja primária está locada sobre andaimes, e não em balanço, pois ela não pode ser fixada na laje do segundo pavimento devido à instalação do painel. Outro item que também está fora de escopo, mas que foi incorporado ao modelo de logística do canteiro é o silo de armazenamento de argamassa para realização de contrapiso bombeado, o qual foi locado ao lado da região de descarga dos blocos de alvenaria, pois necessita ficar próximo à calçada para ser abastecido (Figura 27).

Por fim, mas não menos importante, foi necessário incorporar os itens de segurança periférica do empreendimento ao plano de ataque em virtude do seu grande impacto logístico na execução da estrutura da torre e da instalação dos painéis. Como essa atividade está incorporada no projeto do processo crítico da fachada, ela é melhor abordada e detalhada no item 6.1.4.7 a seguir.

5.1.4.6 Dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção

Portanto, fundamentado no auxílio substancial que os modelos BIM 3D e BIM 4D proporcionaram, pode-se determinar as linhas de trajetória e perceber que a localização e capacidade dos equipamentos de transporte, assim como o próprio *layout* do canteiro, têm influência direta no plano tático do empreendimento, devendo ser sempre considerados. Logo, em conjunto com a direção e o engenheiro da empresa, a autora fez o refinamento do pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção realizado no início da elaboração do PSP, resultando, pois, no tempo de ciclo ideal das atividades e no volume de recursos necessários e passíveis de contratação para a execução do empreendimento, os quais foram adicionados ao modelo BIM 4D. Sendo assim, o dimensionamento final para o cenário sobre a viabilidade de financiamento se encontra detalhado na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 - Dimensionamento da Capacidade de Recursos Final

Atividade	Tempo de Ciclo (dias)	Mão de Obra	Lote de Produção	Lote de Transferência
Escavações e Contenções	40	3 Equipes	Lote 1 a 5	Lote
Gabarito	5	1 Equipe	Lote 1 a 5	Lote 1 a 5
Estaqueamento e Blocos e Vigas de Baldrame	25	2 Equipes	Lote 1 a 5	Lote
Pré-moldado Base	45	1 Equipe	Lote 1 a 5	Lote 1 a 5
Estrutura Torre	10	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
PPCA	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Imperm. PPCA	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Alvenaria	5	2 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Instalações Elétricas e Hidrossanitárias	10	3 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Instalações de Gás	5	1 Equipe	4 Pavimentos	1 Pavimento
Contramarco e Peitoril	15	1 Equipe	15 Pavimentos	1 Pavimento
Impermeabilização	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Piso Aquecido	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Contrapiso	5	2 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Cond. De Ar e Pressurização	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Esquadrias	5	1 Equipe	1 Pavimento	1 Pavimento
Revestimento de Gesso	5	2 Equipes	1 Pavimento	1 Pavimento
Revestimento Paredes	5	2 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Fios e Cabos	5	2 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Forro de Gesso	10	4 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Massa Corrida	5	2 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Revestimento Piso	5	4 Equipes	1/2 Pavimento	1 Pavimento
Tampos, Louças e Metais	5	2 Equipes	2 Pavimentos	1 Pavimento
Portas e Ferragens	5	1 Equipe	2 Pavimentos	1 Pavimento
Pintura	5	1 Equipe	2 Pavimentos	3 Pavimentos
Luminárias, PPCI e Segurança	5	3 Equipes	4 Pavimentos	1 Pavimento
Arremates	5	2 Equipes	2 Pavimentos	1 Pavimento
Móveis e Equipamentos	15	2 Equipes	3 Pavimentos	3 Pavimentos
Limpeza Final	5	2 Equipes	3 Pavimentos	1 Pavimento
Elevador	40	2 Equipes	15 Pavimentos	1 Pavimento
Pele de Vidro	15	1 Equipe	15 Pavimentos	15 Pavimentos
Brise	10	1 Equipe	7 Pavimentos	1 Pavimento
Corrimão	10	1 Equipe	15 Pavimentos	1 Pavimento
Arremate e Limpeza do PPCA	5	1 Equipe	Fachada	Fachada

(Fonte: elaborado pela autora)

5.1.4.7 Identificação e Projeto de Processo Crítico

Segundo Saurin et al. (2004¹⁷ *apud* CAMBRAIA et al., 2008), ao incorporar os planos de segurança ao planejamento da produção, é possível elevar sua eficácia e eficiência como um todo. De acordo com Dias e Fonseca (1996¹⁸ *apud* CAMBRAIA et al., 2008), há 10 processos que necessitam de uma abordagem mais cuidadosa quando se trata da saúde e da segurança do trabalhador, sendo elas as listadas na Figura 30.

Figura 30 - Processos que Necessitam Cuidados na Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho

01	Processos que exponham os trabalhadores a riscos de soterramento, de afundamento ou de queda em altura, particularmente agravados pela natureza da atividade, do meio envolvente do posto de trabalho ou do canteiro
02	Processos que exponham os trabalhadores a substâncias químicas ou biológicas que representem riscos específicos para segurança e saúde
03	Processos com radiações ionizantes, em relação aos quais seja obrigatória a designação de zonas controladas ou vigiadas
04	Processos a serem executados na proximidade de linhas elétricas de alta tensão
05	Processos que impliquem em riscos de afogamento
06	Processos em poços, túneis ou galerias
07	Processos de mergulho com aparelhagem
08	Processos com utilização de ar comprimido (por exemplo: tubulões)
09	Processos que impliquem a utilização de explosivos
10	Processos de montagem e desmontagem de elementos pré-fabricados ou outros, cuja forma, dimensão ou peso exponham os trabalhadores a risco grave

(Fonte: DIAS; FONSECA, 1996 *apud* CAMBRAIA et al., 2008)

Como pode-se perceber nos itens anteriores, o empreendimento IPE é constituído de diversas atividade críticas, as quais se encaixam, principalmente, nos processos 1 e 10 listados acima. Para este trabalho optou-se por realizar o projeto do processo crítico da fachada em PPCA por cinco motivos: (a) requer o manejo de grandes e pesados painéis, tornando-se uma atividade de alto risco, principalmente, pela construtora já ter presenciado uma queda durante a execução da fachada de uma obra anterior (felizmente só com danos materiais); (b) representa quase 20% do custo total da obra; (c) depende de outras atividades também de alto custo, como é o caso da estrutura; (d) envolve a necessidade de instalações de segurança periférica; e (e) requer o uso da grua, que é um recurso crítico.

¹⁷ Saurin, T. A.; Formoso, C. T.; Guimarães, L. B. M. Safety and production: a integrated planning and control model. **Construction Management and Economics**. London, v. 22, n. 2, p. 159-169, 2004.

¹⁸ Dias, L. M.; Fonseca, M. S. Plano de Segurança e de Saúde na Construção. **Lisboa: Instituto de Desenvolvimento e Inspeção das Condições de Trabalho**, 1996.

Conforme apontado por Cambraia (2008), as etapas previstas para a elaboração de um projeto de processo crítico são: (a) coleta de informações e decisões iniciais; (b) preparação e difusão dos planos; e (c) ajustes após rodada inicial. Como o empreendimento em estudo ainda está na fase de projeto, o item (c) não pode ser realizado dentro do período em que este estudo empírico foi realizado, tendo sido frisado para a empresa que ele deverá ser reajustado a partir do início da atividade em obra.

Para elaborar o planejamento de instalação do PPCA, fez-se uma reunião com a subempreiteira responsável, a qual também executará a estrutura da torre, e outra com a empresa responsável pela segurança do trabalho do canteiro, que possui grande experiência neste sistema. Alguns dos itens questionados foram a quantidade de trabalhadores envolvidos no processo (18 para a estrutura e 6 para a montagem do PPCA), a sequência de execução da atividade, os itens de segurança necessários e o posicionamento dos envolvidos. Além disso, a questão climática também foi levantada e decidiu-se não trabalhar em períodos de ventos fortes e nem na presença de chuva leve, pois a oscilação dos painéis e a possibilidade de escorregamento dos funcionários aumentariam os riscos de acidentes. Desse modo, a partir da primeira rodada de coleta de dados, a autora montou um plano de ação para a atividade, que engloba desde o descarregamento dos caminhões até a finalização da instalação do painel, o qual está detalhado a seguir:

- a) Primeiramente, a descarga dos painéis está prevista para ocorrer na doca localizada no lote 5, conforme mencionado no item anterior. De maneira ideal, a movimentação do painel deverá ser do caminhão diretamente para a sua localização na fachada, visto que os painéis chegarão posicionados na ordem de instalação e nas condições corretas de içamento (Figura 31 – imagem de referência de outro empreendimento). Contudo, caso ocorra algum imprevisto, eles poderão ser descarregados na área de estoque prevista e de lá serem devidamente posicionados (Figura 32 – imagem de referência de outro empreendimento). Independentemente disso, durante ambas as movimentações, a área demarcada na Figura 33 deverá ser isolada até que se finde a atividade, sendo permitida apenas a presença do sinaleiro. Por isso, optou-se por transferir o material do caminhão à área de estocagem pelos fundos da obra, pois assim o trânsito de pessoas na região frontal do canteiro não precisa ser interrompido.

Figura 31 - Chegada do PPCA ao Canteiro



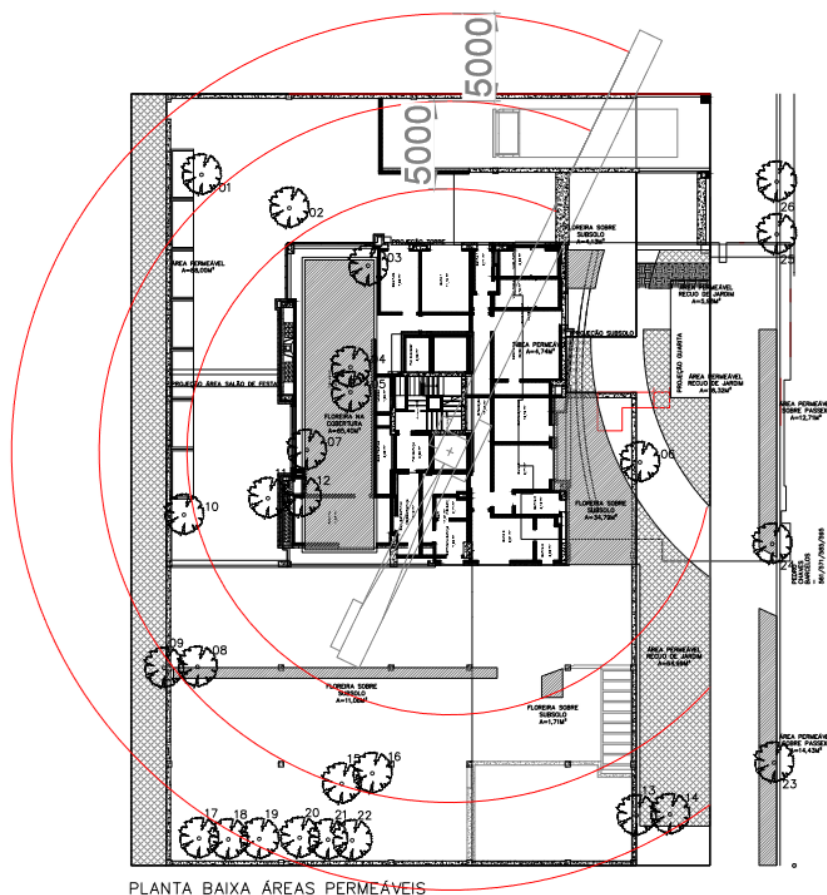
(Fonte: cortesia da subempreiteira)

Figura 32 - Posicionamento do PPCA na Área de Estoque



(Fonte: cortesia da subempreiteira)

Figura 33 - Área de Isolamento para Movimentação do PPCA



(Fonte: elaborado pela autora)

- b) De acordo com o plano de ataque do empreendimento, as atividades da estrutura e do PPCA devem ter defasagem de 1 semana, visto que ambas as atividades utilizam a grua intensamente. Logo, a instalação do PPCA deverá ser feita após uma semana do início de execução da laje lisa, período no qual será realizada a movimentação da mesa voadora do pavimento inferior ao superior, além do transporte do material necessário e das redes de proteção periférica. Por essa questão, a alternativa técnica tradicional de envelopamento da torre por meio de andaimes fachadeiros não pode ser utilizada, optando-se, pois, pela tela T e pela tela U como sistema de prevenção de queda de trabalhadores (Figura 34¹⁹). A tela T funciona como uma bandeja secundária e é constituída por um braço articulado e uma rede de anteparo, tendo como função

¹⁹ Informações retiradas do site da empresa fornecedora desses sistemas em Porto Alegre – DISEMAQ. Fonte: disemaqredesdeseguranca.com.br/redes-de-seguranca/

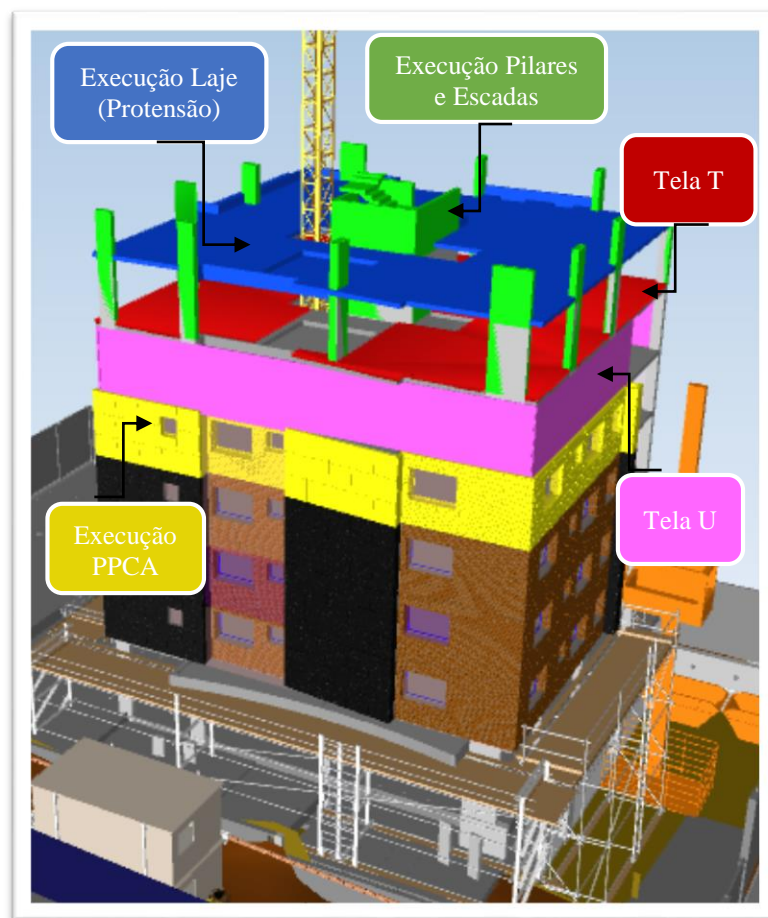
principal proteger os trabalhadores que estão executando a laje superior, os quais também devem estar amarrados às linhas de vida; já a tela U é responsável pelo envelopamento da estrutura já finalizada e é formada por hastes fixadas em pontos estratégicos e por caranguejos inseridos nas lajes inferior e superior, onde a rede periférica é costurada. Como todo esse sistema deve subir em conjunto com a estrutura, há interferência das telas de proteção na instalação dos painéis no momento em que a tela T deve ser fechada para que ocorra a passagem do PPCA, necessitando, pois, de um planejamento logístico adequado, com o qual a simulação 4D contribuiu consideravelmente; ainda que as atividades tiveram que ser representadas simbolicamente por falta de detalhes construtivos por parte dos projetistas de segurança do trabalho (Figura 35).

Figura 34 - Sistemas de Segurança Periférica (Tela T e U)



(Fonte: disemaquredesdeseguranca.com.br/redes-de-seguranca/)

Figura 35 - Execução PPCA x
Proteção Periférica



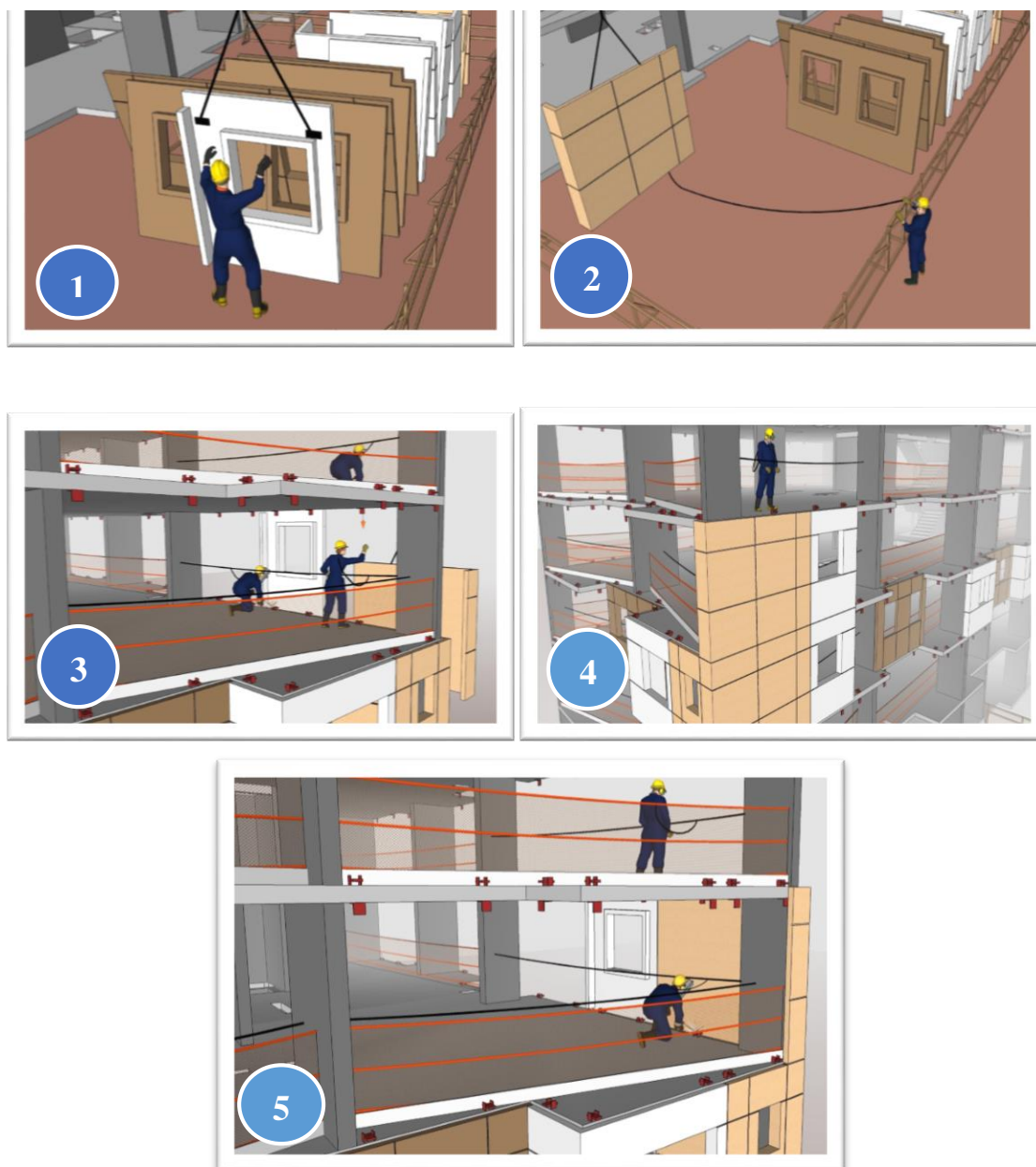
(Fonte: elaborado pela autora)

- c) Em seguida tem-se o alinhamento, posicionamento e soldagem dos painéis, os quais devem acontecer no sequenciamento exemplificado nas imagens a seguir (Figura 36). Dessa forma, findada a colocação do PPCA em todo o pavimento, passa-se para o andar superior, repetindo-se as atividades, e qualquer trabalho de impermeabilização e arremates pode ser realizado durante a semana de defasagem entre a execução da estrutura e a montagem dos painéis. Ao final do processo, previsto para as últimas semanas de finalização do empreendimento, alpinistas industriais²⁰ realizarão a selagem das juntas e limparão todas as fachadas (Figura 37). Ademais, todos os trabalhadores envolvidos nesse processo devem utilizar o cinto especificado na Figura 38 e prendê-lo

²⁰ Alpinismo industrial (mais vulgarmente conhecido por rapel ou acesso por corda) é uma tecnologia de execução de trabalhos em altura em obras de construção civil, que permite aos trabalhadores alcançar locais de difícil acesso. É um método alternativo para a inspeção, manutenção e reparação de fachadas de edifícios e outras estruturas industriais e residenciais. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Alpinismo_Industrial>

à estrutura ou à linha de vida²¹, independentemente da existência dos demais itens de proteção coletiva.

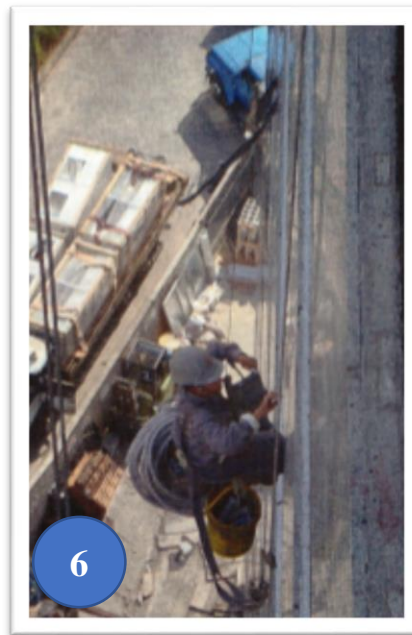
Figura 36 - Sequência de Execução do PPCA



(Fonte: cortesia da empresa de segurança)

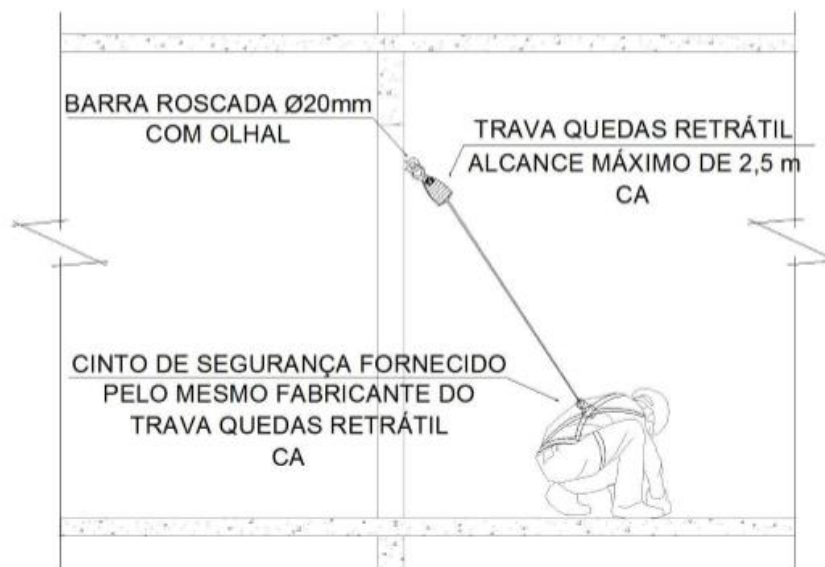
²¹ A linha de vida é um equipamento de proteção coletiva (EPC) e é constituída por corda ou cabo de aço, onde é possível ancorar o cinto de segurança por meio de talabarte ou trava-quedas. Disponível em: <<http://blogaecweb.com.br/blog/o-que-e-linha-de-vida/>>

Figura 37 - Arremates e Limpeza do PPCA



(Fonte: PINI, 2013)

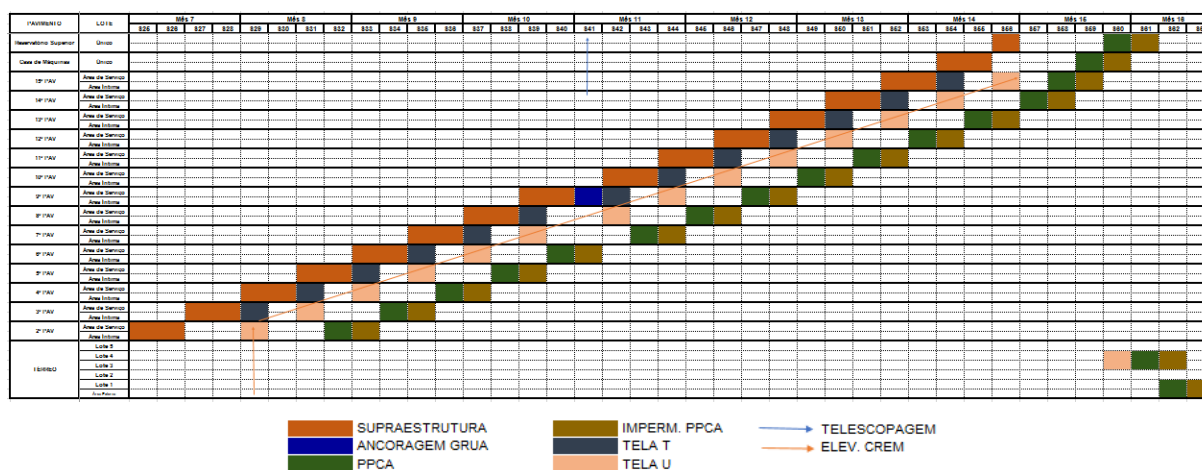
Figura 38 - Cinto de Segurança Obrigatório



(Fonte: cortesia da empresa de segurança)

- d) Outro ponto importante neste plano é o momento em que a atividade do PPCA é iniciada e, para isso, a simulação 4D foi essencial. Portanto, ficou definido que esta deverá ocorrer uma semana após o início da execução da laje do 5º pavimento, para que ambas as atividades sejam executadas no mesmo ritmo e não atrasem o andamento da obra, visto que são consideradas como críticas (Figura 39). Vale considerar, ainda, que a instalação do PPCA deve começar pelo 2º pavimento devido à presença da bandeja primária sob andaimes no térreo, a qual não pode ser suspensa e ancorada na laje do 2º pavimento, pois o próprio painel será fixado neste local. Assim sendo, após o fechamento do 15º andar, a bandeja deverá ser retirada e a colocação do PPCA no pavimento térreo é liberada.

Figura 39 - Linha de Balanço: Processo Crítico Fachada



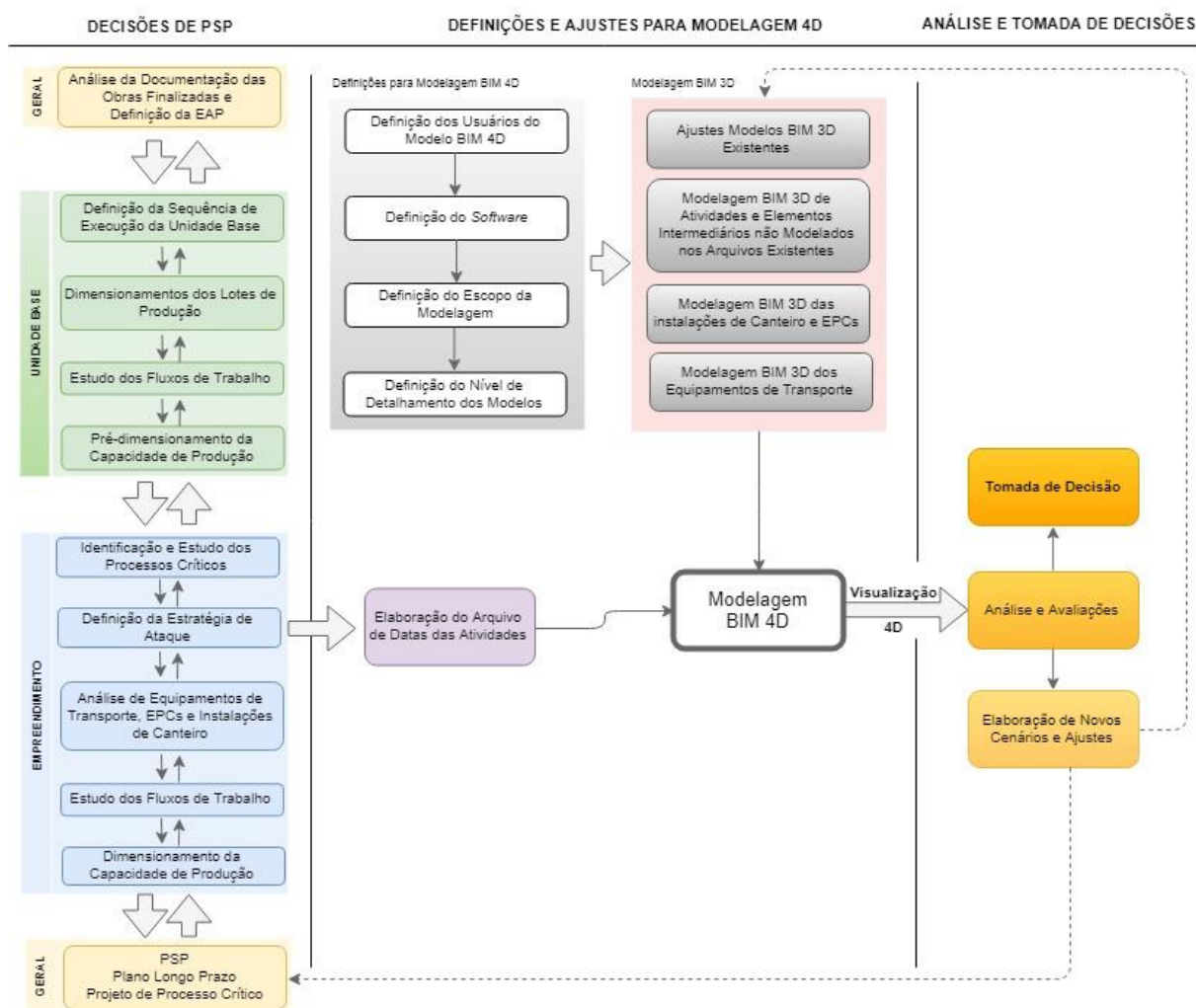
(Fonte: elaborado pela autora)

Elaborado o projeto de processo crítico em conjunto com a empresa e a subempreiteira da atividade analisada, a autora salientou que todos os envolvidos deveriam participar de um treinamento prévio e que, se possível, de uma reunião na qual pudessem expor suas contribuições para o sistema, visto que se trata de uma tarefa bastante complexa, existindo diversos empecilhos e potenciais problemas durante sua execução. Ademais, esse projeto busca auxiliar na redução de erros humanos, porém outras alternativas que complementam a segurança dos trabalhadores devem ser incorporadas ao planejamento (CAMBRIA et al, 2008).

6 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este estudo empírico consistiu na elaboração do PSP do empreendimento IPE, com o auxílio da modelagem BIM 4D. As etapas realizadas ao longo deste trabalho foram analisadas e estipuladas a partir de três pontos, principalmente: (a) dos métodos propostos por Schramm (2004; 2009; 2015) e por Biotto (2012); (b) das necessidades apresentadas pela empresa D; e (c) da ordem em que elas ocorreram dentro do processo de confecção do PSP como um todo. Contudo, vale ressaltar que seu desenvolvimento não foi linear, tendo fluxos de ação e de revisão durante toda a concretização deste estudo, conforme pode ser verificado na Figura 40.

Figura 40 - Processo de Elaboração do PSP com o Auxílio da Modelagem BIM 4D



(Fonte: elaborado pela autora)

Em relação às demais aplicações do PSP já realizadas na engenharia civil, é possível perceber que esse trabalho segue a mesma lógica que o método proposto por Schramm (2004; 2009; 2015) e por Biotto (2012), principalmente. Contudo, alguns pontos são distintos, pois as necessidades das empresas estudadas são diferentes, assim como a maneira com que elas gerenciam o seu planejamento e a sua produção. Por isso, uma etapa inicial de estruturação do planejamento se fez necessária, dado que não havia nenhum pré-lançamento do plano de longo prazo, o que não foi previsto nos métodos de Schramm (2004; 2009; 2015) e Biotto (2012), visto que a maioria dos estudos realizados pelos respectivos autores ocorreram em empresas que já possuíam o plano de longo prazo definido e a fase de projeto finalizada. Além disso, enquanto na pesquisa de Biotto (2012) há a utilização de um módulo de repetição diferente da unidade base, a torre, este trabalho seguiu o sugerido por Schramm (2004; 2009; 2015), visto que o empreendimento estudado era composto apenas por uma torre. Outra diferença encontrada foi em relação à necessidade de modelagem 3D dos projetos, dado que neste estudo a mesma não foi necessária, enquanto que no de Biotto (2012) precisou ser realizada. Ademais, este trabalho apresentou o projeto de processo crítico de uma atividade em específico, enquanto Biotto (2012) apenas a analisou de maneira global no estudo do plano de ataque do empreendimento, tendo em vista que o seu enfoque também estava na realização do PCP da obra, item fora do escopo deste trabalho. Dessa forma, conclui-se que este estudo empírico foi de grande importância para a comunidade acadêmica, pois corroborou um método de elaboração de PSP que vem sendo melhorado ao longo dos anos por diversos pesquisadores (SCHRAMM, 2004; SCHRAMM, 2009; RODRIGUES, 2006; BIOTTO, 2012; RECK, 2013), além de contribuir para a disseminação do BIM no ramo da construção civil.

Portanto, para a elaboração do PSP do empreendimento IPE, inicialmente buscou-se informações antigas acerca de empreendimentos similares e a maneira como eles foram planejados. A partir disso, a autora elaborou uma EAP do projeto e definiu o nível de detalhamento adequado para o plano de longo prazo. Em um primeiro momento, a mesma optou por um nível de detalhes alto, porém, ao longo do desenvolvimento, ela percebeu que seria muito trabalhoso e não agregaria muito benefício ao projeto devido ao elevado grau de incerteza do ambiente produtivo, decidindo por utilizar a escala de tempo em semanas, ao invés de dias, e uma abordagem de detalhamento gradual, na qual não se especifica em detalhe o tipo da atividade no início do empreendimento. Por exemplo, uma atividade pode ser definida como pisos, ao invés de se definir o tipo de piso a ser instalado. Este plano é detalhado somente nos níveis de planejamento e controle da produção de médio e curto prazo.

Em seguida, por solicitação da direção da empresa, a autora realizou o início do planejamento no *software MSPProject* para poder extrair um gráfico de Gantt, uma ferramenta com a qual os envolvidos estavam acostumados. Contudo, tal prática se mostrou bastante insatisfatória, pois a visualização de certas decisões não é simples, o que dificultou a comunicação dentro processo, tornando-o lento. Ademais, a dificuldade de visualizar o planejamento como um todo e a interdependência das atividades deixou o processo trabalhoso e muito suscetível a erros. Desse modo, a autora sugeriu que fosse implementada a linha de balanço, que reduziram os problemas verificados com o emprego da rede CPM. Tal melhoria foi notória quando o engenheiro e o diretor da empresa reconheceram o potencial da ferramenta ao conseguirem enxergar e compreender o planejamento por completo, bem como o tempo de ciclo, os diferentes ritmos e o pré-dimensionamento da capacidade de recursos das atividades, os quais estão interligados e necessitam de sincronia entre seus fluxos de trabalho.

Como consequência, foi solicitado pelo diretor que 3 diferentes cenários de viabilidade de recursos fossem abordados, visto que a obra ainda está em processo de análise de viabilidade financeira. Um deles seria a utilização de recursos próprios, o segundo, financiamento, e o terceiro proveniente da venda das unidades, principalmente. Realizada tal análise, foi possível perceber que o cenário 1 traria grande dispêndio de recursos na primeira metade da obra e geraria falta de sincronia dos fluxos, não resultando em uma velocidade tão superior ao previsto para a segunda abordagem, alternativa mais provável, dado que o pavimento térreo funciona como um gargalo da edificação, postergando a entrega do empreendimento. Por conseguinte, adotou-se o segundo cenário como o ideal para o plano de longo prazo, podendo este ter algumas tarefas antecipadas ou retardadas de acordo com o fluxo de receitas real, trazendo, pois, maior flexibilidade e embasamento para futuras decisões, uma vez que os envolvidos passam a possuir conhecimento das alternativas existentes e da maneira como elas poderão ser trabalhadas.

O uso da modelagem BIM 4D foi de extrema importância para o aumento de confiança dos participantes na tomada de decisão, principalmente no que se refere à análise logística do canteiro. Com a simulação do plano de ataque do empreendimento, a autora pode verificar incompatibilidades tanto no próprio planejamento quanto na interação entre os estoques, os equipamentos e suas posições dentro do *layout*. A partir desse ponto, sessões colaborativas passaram a integrar o processo, sendo as sugestões analisadas, descartadas e viabilizadas, como, por exemplo, o posicionamento da grua, o qual já estava pré-definido e foi alterado, e a

definição do estoque de PPCA. Essas decisões do PSP só foram possíveis porque as principais subempreiteiras foram incorporadas ao processo de elaboração do plano e a autora é responsável pela coordenação de projetos da empresa D, podendo viabilizar boa parte das decisões que tangem a alteração de projetos. Entretanto, a maioria das análises ocorreram em caráter exploratório, em virtude de os contratos ainda não terem sido efetivados. Desse modo, dados em relação à produtividade, à disponibilidade de mão de obra e às características particulares de cada atividade precisaram ser inferidas das entrevistas realizadas e terão que ser rediscutidas quando do momento da contratação dos serviços.

Por fim, a elaboração do projeto do processo crítico da fachada salientou os cuidados e características importantes do processo de execução da fachada em PPCA, sendo que a linha de balanço e a simulação 4D foram essenciais para a compreensão e o planejamento da atividade, dado que envolve tarefas bastante complexas, as quais precisam estar sincronizadas. Ademais, com essas ferramentas a autora pode mostrar para a incorporadora quais precauções devem ser tomadas, tanto no que diz respeito ao desempenho da tarefa em si quanto à segurança de todos os envolvidos.

Em suma, todo esse processo salientou a importância e utilidade do PSP, sobretudo com a utilização do BIM 4D, em razão da possibilidade de se testar possíveis cenários e abordagens, principalmente nas fases do empreendimento que antecedem a produção. Caso sejam necessárias alterações, inclusive de projeto, premissa necessária para a logística do PPCA, por exemplo, elas se tornam viáveis e seu custo bem mais baixo do quando realizada em uma fase mais avançada. Ademais, o processo de modelagem apresentou-se bastante viável, principalmente por já existir o modelo BIM 3D do empreendimento, sendo necessário apenas a definição do escopo da modelagem BIM 4D, a qual possuiu um baixo grau de detalhes, pois visava responder questões relativas ao projeto do sistema de produção e ao planejamento de longo prazo, tornando mais rápida sua elaboração.

Portanto, os resultados deste estudo foram bastante satisfatórios, uma vez que os envolvidos puderam perceber que tais práticas devem ser adotadas e realizadas não só na fase de projeto, mas também como forma de planejamento e controle da produção durante o andamento da obra, pois, ao passo que elas são atualizadas de acordo com as necessidades apresentadas, auxiliam as tomadas de decisões. Ainda, pode-se dizer que a empresa recebeu muito bem as análises e as sugestões fornecidas, pois uma das evidências de sucesso deste trabalho é o fato de que a

empresa pretende estruturar internamente o setor de planejamento, no qual a autora também faz parte, com a utilização do BIM, e, além disso, tem grande interesse em utilizar as ferramentas adotadas durante este estudo nos demais empreendimentos em fase de projeto e, também, para auxiliar o PCP durante a fase de execução desta obra.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para melhorar o desempenho da indústria da construção em termos de custo, confiabilidade de prazo e qualidade é necessário que seus processos gerenciais sejam eficazes e sistematizados. Conforme apontado por Koskela e Ballard (2003), o PSP é essencial para auxiliar a gestão da produção, principalmente quando realizado com antecedência, isto é, ainda na fase de projeto. Isso se deve ao fato de que o PSP é capaz de identificar os principais objetivos do empreendimento, retratando, pois, as diretrizes da estratégia escolhida pela organização e contribuindo para a definição de um padrão a partir do qual o seu desempenho pode ser controlado. Aliado a isso, a necessidade de melhorar a comunicação entre os envolvidos é crucial para a boa performance do conjunto, tornando a simulação 4D extremamente valiosa dentro do processo, pois, ao gerar visualização espacial e temporal do objeto, esta permite maior interação entre os envolvidos e o projeto, clarificando dúvidas e proporcionando novas análises para uma melhor compreensão de todos.

Desse modo, este estudo buscou verificar na prática como o processo de elaboração do PSP pode ser abordado em uma empresa que está tentando implementar o processo BIM como um todo, particularmente a modelagem BIM 4D. Para isso, usou-se como ponto de partida os métodos propostos por Schramm (2004) e por Biotto (2012), e, a partir da sua adaptação às necessidades da empresa e posterior implementação, foi possível perceber que a utilização de modelos BIM 4D contribuem fortemente para apoiar não só a elaboração do plano mestre, mas, especialmente, o projeto do sistema de produção como um todo. Definir questões táticas do empreendimento requer habilidades de projeção espacial, as quais variam de pessoa para pessoa, e torna o processo complexo e bastante suscetível a erros e a falhas de comunicação. Com a simulação 4D, esses problemas foram minimizados e a troca de informações passou a ser mais eficaz, visto que a possibilidade de visualizar a construção virtual do empreendimento e, conseqüentemente, as relações espaciais geradas em seu entorno, assim como o planejamento de operações logísticas, melhorou o processo. Além disso, a simulação 4D auxilia consideravelmente na definição da rede de precedência e dos ritmos de produção, pois permite testar e analisar diferentes alternativas e abordagens, sendo essencial para a elaboração de um plano de longo prazo coeso e otimizado.

No entanto, a utilização da simulação deve estar sempre acompanhada de outras ferramentas que explicitem as demais decisões do sistema de produção, dado que o vídeo gerado é feito sob o ponto de vista do manipulador e, por isso, pode esconder informações importantes dependendo da esfera em que se pretende analisá-lo. Isso pode ser verificado na dificuldade de se analisar a sincronia dos fluxos de trabalho e de se definir os ritmos de produção do empreendimento a partir da animação, pois monitorar atividades que ocorrem concomitantemente em diferentes pontos do projeto, como, por exemplo, no caso da fachada e das áreas internas das unidades. Logo, como um dos principais focos deste trabalho era a fachada, a decisão de não modelar a unidade base foi justificada. Outra limitação do processo verificada foi em relação à escala de tempo na qual o projeto é trabalhado, isto é, suas atividades demoram dias, semanas ou até mesmo meses, enquanto a maioria dos equipamentos empregados são contratados por poucos dias ou horas. Em vista disso, dependendo da escala de tempo utilizada, algumas operações podem se perder dentro da simulação, uma vez que acontecem muito mais rapidamente do que os demais processos modelados. Assim, de uma maneira geral, para definir o melhor ângulo de análise das tarefas é sempre válido incorporar os espectadores dentro da esfera de manipulação do programa, pois isso viabiliza a análise por diversos pontos de vista e facilita a verificação de conflitos.

Ademais, como toda a implementação de novas práticas, algumas resistências foram presenciadas por parte dos envolvidos. Assim, outro objetivo alcançado neste estudo empírico foi a identificação dos benefícios e das dificuldades de se utilizar a modelagem BIM 4D como ferramenta de apoio à gestão da produção. De maneira geral, os pontos fortes foram supramencionados e estão, principalmente, no auxílio da elaboração do plano de ataque e do plano de longo prazo, visto que melhora a comunicação entre as partes, possibilita antever problemas, verificar a interdependência das atividades e analisar os pontos críticos do planejamento de maneira mais assertiva, como, por exemplo, as análises de segurança do trabalho, a logística de transporte e materiais, a definição do *layout* das instalações provisórias e a iteração que possuem entre si durante a execução da edificação. Já as dificuldades encontradas na elaboração deste estudo foram em relação a utilização de ferramentas e metodologias diferentes das que os participantes estavam acostumados a trabalhar, sendo necessária a exemplificação na prática dos benefícios que tais abordagens trariam para o planejamento ao serem aplicadas. Alterar a maneira como muitos engenheiros trabalham, a qual geralmente está fundamentada em processos já consolidados e baseados na experiência prévia

de cada um, é uma questão bastante delicada e um dos fatores mais importantes para a disseminação tanto de novas tecnologias quanto de outras já existentes, mas que não são largamente conhecidas. Por conseguinte, cada vez mais estudos na área de gestão da produção devem ser realizados com o intuito de mostrar ao mercado a diversidade de ferramentas existentes e o benefício que elas trazem para evolução da indústria da construção civil, principalmente quando empregadas em conjunto, visto que as dimensões do BIM são apenas algumas delas.

Sendo assim, pode-se concluir que a experiência foi bastante positiva e que apresentou resultados bastante satisfatórios, sobretudo pelo fato de que a autora também era responsável pela coordenação dos projetos na empresa D, possuindo acesso às informações de diversos níveis e, também, maior autonomia para viabilizar as alternativas propostas, agilizando, pois, o processo de tomada de decisão. Todavia, o alto investimento na compra dos *software* necessários e a necessidade de treinamento intensivo dos envolvidos representa uma barreira percebida pelos empresários na implementação ampla do BIM. Diante desse obstáculo, foi necessário salientar que o investimento retornará ao passo que o processo como um todo se tornará mais confiável e otimizado, atenuando os riscos existentes. Isso será possível uma vez que as tomadas de decisões proporcionam maior controle sobre o tempo, o escopo e o custo do empreendimento, diminuindo, assim, a variabilidade entre o planejado e o realizado. Por fim, a incorporadora se mostrou interessada em manter as atividades durante a fase da obra, quando o PSP pode auxiliar na avaliação de alternativas de planejamento, caso necessário.

REFERÊNCIAS

- ACKOFF, R. Systems, Messes and Interactive Planning. In: **Redesigning the Future**. New York/London: Wiley, 1974, p. 417-438.
- AGAPIOU, A. et al. The role of logistics in the materials flow control process. **Construction Management and Economics**, v. 16, n. April 2015, p. 131–137, 1998.
- AKIN, O. Current Trends and Future Directions in CAD. In: KARIMI, H. A.; AKINCI, B.. **CAD and GIS Integration**. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, LLC, 2010. P. 1-21.
- ALMOHSEN, A.; RUWANPURA, J. Logistics Management in the construction industry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 11, FRA. **Proceedings...** Sophia Antipolis, FRA: IC, 2013.
- ALVAREZ, R. R.; ANTUNES JR., J. A. V. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do sistema Toyota de produção. **Gestão & Produção**, v. 8, n. 1, p. 1-18, abril 2001.
- ALVES, T. C. C.; TOMMELEIN, I., D. Cadeias de Suprimentos na Construção Civil: análise e simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 31-44, abr./jun., 2007.
- ASKIN, R. G.; GOLDBERG, J. B. **Design and Analysis of Lean Production Systems**. New York: John Wiley & Sons, 2002.
- BACCARINI, D. The concept of project complexity - a review. **International Journal of Project Management**, v. 14, n. 4, p. 201-204, 1996.
- BALLARD, G. The Last Planner. **Lean Construction Institute**, 1994.
- BALLARD, G. Work Structuring. Las Vegas, NV: **LCI White Paper #4**, June, 1999.
- BALLARD, G. Phase Scheduling. **LCI White Paper #7**, April, 2000a.
- BALLARD, G. Lean Project Delivery System. **LCI White Paper #8** (Revision 1), September, 2000b.
- BALLARD et al. Production System Design: Work Structuring Revisited. **LCI White Paper #11**, January, 2001a.
- BALLARD, G. et al. **Production system design in construction**. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 9., 2001, Singapura. Proceedings. Singapura: IGLC, 2001b.
- BALLARD, G. et al. The Lean Project Delivery: An update. **Lean Construction Journal**. p. 1-19, 2008.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. What kind of production is construction? In: **Proc. 6th Annual Conf. Int'l. Group for Lean Construction**. 1998.

BATAGLIN, F. S. **Modelo para gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados *Engineer-to-order***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

BERTELSEN, S. Construction as a Complex System. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP OF LEAN CONSTRUCTION, 11., Blacksburg, 2003. **Proceedings...** Blacksburg: IGLC, 2003.

BIOTTO, C. N. **Método de Gestão da Produção na Construção Civil com Uso da Modelagem BIM 4D**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de PósGraduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 79–96, 2015.

BuildingSMART. **International Alliance for Interoperability**. Disponível em: <buildingsmart.org>. Acesso em: 16 novembro 2017.

BULHÕES, I. R. **Diretrizes para implementação de fluxo contínuo na construção civil: uma abordagem baseada na mentalidade enxuta**, 2009. 332f. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas.

CAMBRAIA, F. B.; SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. **Planejamento e controle integrado entre segurança e produção em processos críticos na construção civil**. *Produção*, v. 18, n. 3, p. 479-492, 2008.

COBLE, R. J.; BLATTER, R. L.; AGAJ, I. Application of 4D CAD in the construction workplace. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2003. p. 195-210.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. John Wiley & Sons, 2011.

FISCHER, M.; HAYMAKER, J.; LISTON, K. Benefits of 3D and 4D models for facility managers and AEC service providers. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2003. p. 1-32.

FUKAI, D. Beyond Sphereland: 4D CAD in construction communications. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2003. P. 33-54.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

GIDADO, K. I. Project complexity: The focal point of construction production planning. **Construction Management and Economics**, v. 14, n. 3, may, 1996. p. 213–225.

GRIFFIS, F. H.; STURTS, C. S. Fully integrated and automated project process (FIAPP) for the project manager and executive. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2003. P. 55-74.

HAPIN, D. H.; WODHEAD, R. W. **Design of Construction and Process Operations**. [s.l.]: John Wiley & Sons, 1976.

HARTMANN, T.; FISCHER, M., **Challenges and Benefits of 4D Modeling on the Walt Disney Concert Hall Project**. CIFE Working Paper #064, Standford University, Standford, CA, 18 jan, 2001.

HARTMANN, T. et al. **Fulton Street Transit Center Project: 3D/4D Model Application Report**. TR170 Stanford: Salford University, 2007.

HARTMANN, T.; GAO, J.; FISCHER, M. Areas of application for 3D e 4D models on construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, p. 776- 785. out. 2008.

HERMANN, J.W. Design for Production: Concepts and Applications. In: SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS ANNUAL MEMBERS CONFERENCE. **Proceedings...**Bethlehem: Society of Manufacturing Engineers, 2003.

HOPP, W.; SPEARMAN, M. **Factory Physics**. 2. ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2000.

HOWELL, G.; BALLARD, G. Design of Construction Operations. **White paper 04**. [s.l.]: Lean Construction Institute, 1999.

ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2003.

JACOBSEN, P. et al. Philosophy Regarding the Design of Production Systems. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 20, n. 6, 2002. p. 405–415.

JURAN, J. M. **A Qualidade Desde o Projeto: Novos Passos para o Planejamento da Qualidade em Produtos e Serviços**. São Paulo: Pioneira, 1992.

KANKAINEN, J.; SEPPANEN, O. A Line of balance Based Schedule Planning and Control System. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 11, USA. **Proceedings...** Virgina, USA: IGLC, 2003.

KASANEN, E.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. The constructive approach in management accounting. **Journal of Management Accounting Research**. V.5, p. 243-264, 1993.

KEMMER, S. L.; HEINECK, L. F. M.; ALVES, T. C. L. Using the Line of Balance for Production System Design. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 16, United Kingdom. **Proceedings...**Manchester, UK: IGLC, 2008.

KENLEY, R. Project Micromanagement: practical site planning and management of work flow. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12, Denmark. **Proceedings...** Copenhagen, Denmark: IGLC, 2004.

KNAPP, S.; CHARRON, R.; HOWELL, G. Phase planning today. **Revista Ingenieria de Construcción**, v. 22, n. 3, 2007. p. 157–162.

KOO, B.; FISCHER, M. **Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction**. CIFE Technical Report #118 Salford: Salford University, 1998.

KOSKELA, L. **Application of the new philosophy to construction**. Stanford, CA: Stanford University, 1992.

KOSKELA, Lauri. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 298 f. Tese (Doutorado) - Technical Research Centre of Finland, Espoo, 2000.

KOSKELA, L. **Is Structural Change the Primary Solution to the problems of construction?** **Building Research & Information**, v. 31, n. 2, p. 85–96, 2003.

KOSKELA, L.; BALLARD, G. What should we require from a production system in construction? **Construction Research**, p. 1-8, 2003.

KUNZ, J.; FISCHER, M. **Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions**. Stanford: CIFE Working Paper #097, 2011.

KYMMELL, W. **Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations**. McGraw-Hill, 2008. p 6.

LEINONEN, Jarkko; KÄHKÖNEN, Kalle; HEMIÖ, Tero; RETIK, Arkady. New construction management practice based on the virtual reality technology. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abingdon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2003. p. 75-100.

LEITE, F. AKCAMETE, A. AKINCI, B. ATASOY, G.; KIZILTAS, S. Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. **Automation in Construction**, v. 20, n. 5, p. 601-609, 2011. Elsevier B.V.

LI, Y.; STEPHENS, J.; RYBA, A. Four-dimensional modelling on Tottenham Court Road station, London , UK. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, v. 167, n. 5, p. 33, 2014.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELHADO, S. B.; FABRICIO, M. M. Projetos da Produção e Projetos para Produção na Construção de Edifícios: discussão e síntese de conceitos. Em: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7. 1998. **Anais...** Florianópolis: UFSC: ENTAC, 1998.

MEREDITH, J. R.; SHAFER, S. M. **Administração da Produção para MBAs**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

MITLETON-KELLY, E. Complexity: Partial Support for BPR?. In **Henderson P. (Ed), Systems Engineering for Business Process Change**, Springer-Verlag. 2000.

PAPAMICHAEL, K. **Application of information technologies in building design decisions**. Building Research & Information, v. 27, n. 1, p. 20-34, 1999.

PIDD, M. **Computer Simulation in Management Science**. 5. ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2004.

PRICE, S.; JOHN, P. The Status of Models in Defence Systems Engineering. In: PIDD, M. (Ed.). **Systems Modelling: theory and practice**. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C.. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Porto Alegre, RS: Universidade Feevale, 2013. 2ed.

RECK, R. H. **Proposta de método para integração da simulação de eventos discretos e visualização BIM 4D no projeto do sistema de produção**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RILEY, David. The role of 4D modeling in trade sequencing and production planning. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2003. p. 125-144.

RODRIGUES, A. A. **O projeto do sistema de produção no contexto de obras complexas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando Fluxo Contínuo: um Guia de Ação para Gerentes, Engenheiros e Associados da Produção**. São Paulo: Lean Institute, 2002.

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENFELD, O.. Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. **Journal of Construction Engineering and Management, ASCE**, p. 1307-1315. 2009.

SAURIN, T. A. **Método de Diagnóstico e Diretrizes para Planejamento de Canteiros de Obras de Edificações**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. Planejamento de Canteiros de Obra e Gestão de Processos. **Recomendações Técnicas HABITARE**, v. 3. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC**. Porto Alegre, 2006.

SCHRAMM, F. K. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHRAMM, F. K. **Projeto de Sistemas de Produção na Construção Civil Utilizando Simulação Computacional como Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisão**. 2009. 299 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T. Projeto de sistemas de produção na construção civil empregando simulação no apoio à tomada de decisão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre. v. 15, n. 4, p. 165-182, out./dez. 2015.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. Cambridge, Massachusetts/London, England: The MIT Press, 1996. 3ed.

SLACK, N. et al.. **Operations and Process Management: Principles and practice for strategic impact**. Prentice Hall, 2006.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operations Management**. 5. ed. Prentice Hall, 2007.

SOUZA, A. L. R. DE; MELHADO, S. B. O “ projeto para produção ” como ferramenta de gestão da qualidade: aplicação às lajes de concreto armado de edifícios. **PINI Web**, set., 1998. Disponível em: <<http://piniweb17.pini.com.br/construcao/noticias/o-projeto-para-producao-como-ferramenta-de-gestao-da-qualidade-85267-1.aspx>>. Acessado em: 12 novembro 2017.

TOMMELEIN, I. D. Pull-driven Scheduling for Pipe-Spool Installation: Simulation of Lean Construction Technique. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 4, p. 279–288, 1998.

TOMMELEIN, Iris D. Acknowledging variability and uncertainty in product and process development. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abington/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2003. p. 165-194.

TSAO et al.. Case study for work structuring: installation of metal door frames. In: ANNUAL LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, 8., Brighton, UK, 2000. **Proceedings...** International Group of Lean Construction (IGLC), 2000.

TSAO, C. C. Y.. **Use of work structuring to increase performance of project-based production systems**. 2005. 325 f. Tese (Doutorado) – University of California, Berkeley, 2005.

TURNER, J. R. **The handbook of project-based management**. London: McGraw-Hill, 1993.

VAN AKEN, J. E. Management Research on the Basis of the Design Paradigm: the Quest for Field-tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.

WEBB, Robert M.; HAUPT, Theo C.. The potential of 4D CAD as a tool for construction management. In: ISSA, Raja R.A.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and**

Visualization in Construction: Developments and Applications. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2003. p. 227-242.

WILLIAMS, T. M. **Modeling Complex Projects.** Chichester: John Wiley & Sons, 2002.

ZHANG, J.; LI, D. Research on 4D Virtual Construction and Dynamic Management System Based on BIM. In: **Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering.** 2010.